

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
Vicerrectoría Académica
Escuela de Ciencias Exactas y Naturales
Sistema de Estudios de Posgrado
Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales

**Evaluación del Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales en el Área de
Conservación Guanacaste, Costa Rica**

Presentado en cumplimiento del requisito para optar por el título de Magister en Manejo de
Recursos Naturales con énfasis en Biodiversidad

Waldy Medina Sandoval

San José, Costa Rica

Abril, 2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, a mi esposa Betty Jiménez Mairena y su amor incondicional en cada etapa de mi vida. A mis hijos Kevin, Keylor y Kendall, quienes sacrificaron y me regalaron parte de su tiempo cuando más lo necesité. A mis padres Miguel Medina Bustos y Jeannette Sandoval Gould que siempre me alentaron e impulsaron en esta aventura del conocimiento.

Agradecimientos

Me siento muy orgulloso de haber realizado este trabajo en mi segunda casa, el Área de Conservación Guanacaste, a quien siempre defenderé y daré lo mejor de mí. Le agradezco a Dios por darme el conocimiento y la fuerza necesaria para llegar hasta aquí. A mi familia, a mi amada esposa Betty Jiménez Mairena y a mis hijos Kevin, Keylor y Kevin por el sacrificio de su tiempo y su apoyo incondicional en cada proceso de esta aventura. A las autoridades del ACG, Alejandro Masís Cuevillas y Roger Blanco Segura, por permitirme realizar este proyecto. A Julio Díaz Orias y Didi Guadamuz Eras, por facilitarme el espacio y datos claves de incendios necesarios para estructurar el trabajo. A Mauricio Vega Araya, por su guía como tutor y su ayuda con el tema escogido, el material facilitado y la revisión científica. A Betsy Cedeño Montoya y a Benjamín Álvarez Garay, por su colaboración cuando más lo necesitaba como lectores de tesis. A Jairo Moya Vargas, por la revisión técnica y las sugerencias en momentos clave del proceso. Finalmente, a mi amiga Nidya Nova Bustos, por el empuje y el apoyo moral en las circunstancias más difíciles y decisivas.

Acta de aprobación de tribunal examinador


Declaración jurada

Mercedes de Montes de Oca, 12 de abril 2020

Yo, Waldy Medina Sandoval, con número de cédula 5 0284 0875, estudiante de la Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales con énfasis en biodiversidad declaro bajo juramento que soy autor intelectual del presente trabajo final de graduación “Evaluación del Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica”, y no hay copia ni duplicación de material intelectual procedente de medios impresos, digitales o audiovisuales que se presente como de mi auditoría.

Toda palabra dicha o escrita por otra persona consignada en este trabajo está debidamente referenciada.

WALDY
MEDINA
SANDOVAL
(FIRMA)



Firmado
digitalmente por
WALDY MEDINA
SANDOVAL (FIRMA)
Fecha: 2020.04.12
22:28:59 -06'00'

Waldy Medina Sandoval

Resumen

Los incendios forestales son un problema recurrente durante la estación seca en el ecosistema de bosque seco del Área de Conservación Guanacaste (ACG). Estos causan graves problemas ambientales como pérdida de biodiversidad y una considerable inversión en recursos humanos y materiales para su control y manejo. La investigación evaluó el modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal utilizado en el ACG, con el fin de medir la utilidad e impacto que tiene la herramienta en la lucha contra los incendios forestales, así como su efectividad en la predicción y detección de incendios forestales ocurridos en dicho ecosistema entre el período 2016 y 2017. Para determinar el nivel de predicción del modelo en la detección de incendios forestales, por medio del uso de las bases de datos que contienen información detallada de los incendios ocurridos en el ACG desde 1997, y a través de la herramienta de sistemas de información geográfica ArcGIS 10.6, se realizó un análisis retrospectivo de los incendios ocurridos entre 2016 y 2017, en relación a la probabilidad de riesgo para la fecha en que ocurrió cada fenómeno. Este análisis determinó, que en dicho periodo se quemaron 1 962 hectáreas, de las cuales el 93 %, que equivalen a 1 834 ha, contaban con una probabilidad moderada de peligro de incendio. Sin embargo, el modelo no acertó una sola ha en probabilidad de peligro de incendio alta o muy alta al igual que probabilidad baja, por lo que es factible establecer una propuesta de mejora para que el modelo pueda acertar incendios ubicados en zonas de alta y muy alta probabilidad. Se infiere que existe la posibilidad de que, variando los pesos de las variables existentes e incorporando variables antrópicas con sus respectivos pesos en el modelo, las zonas geográficas de alto y muy alto riesgo puedan cambiar su ubicación, ya que actualmente las variables meteorológicas tienen una alta incidencia en la predicción que emite el modelo. Por lo tanto, se recomendó la incorporación en el modelo de las variables antrópicas distancia de punto de ignición a caminos, distancia de punto de ignición a poblaciones aledañas, distancia de punto de ignición a zonas de cultivos y ganadería, así como distancia de punto de ignición a actividades turísticas en zonas de uso público. Finalmente, la investigación evaluó, por medio de cuestionarios estructurados y auto administrados, a una muestra de doce funcionarios del Comité Técnico y a ocho integrantes del Programa de Manejo del Fuego del ACG, el conocimiento y uso que tienen del sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales implementado en el ACG desde el 2016. El análisis reveló que solo el 25% de los funcionarios encuestados utiliza efectivamente la plataforma de cartografía de riesgo de incendios forestales, por lo que se plantea una propuesta de un plan de comunicación para socializar dicha herramienta.

Palabras Clave

Predicción, ignición, riesgo, bosque seco, manejo del fuego, prevención.

Contenido

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Resumen	v
Contenido	vi
Lista de cuadros	x
Lista de figuras	xi
Capítulo I. Introducción	1
1.1 Justificación	1
1.2 Delimitación de la investigación.....	2
1.3 Antecedentes.....	3
1.3.1 Antecedentes internacionales.....	3
1.3.2 Antecedentes nacionales.....	4
1.3.3 Antecedentes regionales	5
1.4 Planteamiento del problema.....	7
1.5 Objetivos	8
1.5.1 Objetivo general.....	8
1.5.2 Objetivos específicos	8
1.6 Marco contextual.....	9
1.6.1 Logística.....	11
1.6.2 Tipo de producto o propuesta de investigación.....	12
Capítulo II. Marco teórico	13
2.1 Generalidades	13
2.1.1 Área de Conservación Guanacaste y el manejo de incendios.....	13
2.1.2 Programa de manejo del fuego.....	14
2.1.2.1 Modelos operativos de prevención, vigilancia, control y liquidación de incendios forestales	15
2.1.2.2 Ingeniería de campo de apoyo al control de incendios forestales.....	15
2.1.2.3 Detección de incendios forestales	15
2.1.2.4. Control y liquidación de incendios forestales	15

2.1.2.5 Operativos en carretera	16
2.1.2.6 Capacitación.....	16
2.1.2.7 Educación.....	16
2.2. El bosque seco y los incendios forestales.....	16
2.3. Los incendios forestales	17
2.4 Gestión de los incendios forestales en Costa Rica	19
2.5 El fuego: concepto y sus características	21
2.6 Propagación del fuego	22
2.6.1 Propagación del fuego por convección.....	23
2.6.2 Propagación del fuego por radiación	23
2.6.3 Propagación del fuego por conducción	23
2.6.4 Nuevos focos de incendio.....	24
2.7 Los incendios forestales y sus consecuencias	24
2.7.1 Afectación al aire	25
2.7.2 Afectación a la biodiversidad	25
2.7.3 Afectación al suelo.....	26
2.7.4 Riesgos para la salud.....	26
2.7.5 Afectación económica y social.....	27
2.8 Interés científico en la predicción de incendios forestales	27
2.9 Sistemas de cartografía de riesgo en incendios forestales.....	29
Capítulo III. Marco metodológico.....	39
3.1. Paradigma.....	39
3.2. Enfoque.....	40
3.3. Tipo de investigación.....	40
3.4. Participantes / población y muestra	41
3.4.1 Área de Conservación Guanacaste	43
3.4.2 Instituto Meteorológico Nacional.....	43
3.4.3 Comisión Nacional sobre Incendios Forestales	43
3.4.4 Sociedad Civil.....	43
3.5 Fuentes de información.....	44
3.6 Técnicas e instrumentos para la recolección de información	44
3.7 Validación de instrumentos.....	45
3.8. Procedimiento de recolección de información	46
3.8.1 Procedimientos para describir el uso del modelo por el personal del ACG.....	46

3.8.2 Procedimientos para determinar la existencia de variables de presión humana que interfieren en el inicio de un incendio forestal.....	47
3.8.3 Procedimientos para determinar el nivel de predicción del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG en la detección de incendios forestales.....	47
3.8.4 Procedimiento para proponer la inclusión o modificación del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales en el ACG	48
3.9 Procedimiento de análisis de la información	48
Capítulo IV. Presentación y análisis de resultados	50
4.1 Resultados	50
4.1.1 Análisis de resultados enfocados en la variable uso del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG	50
4.1.1.1 Conocimiento de la herramienta tecnológica Sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG.....	50
4.1.1.2 Resultados del componente diseño, operatividad y actualización de la plataforma tecnológica del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales	50
4.1.1.3 Análisis de resultados enfocados en el uso, utilidad e impacto de la herramienta de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG.....	52
4.1.2 Análisis de resultados enfocados en las variables de presión humana que inciden en la ignición de un incendio forestal	54
4.1.3 Análisis de resultados enfocados en la variable relacionada a determinar el nivel de predicción del modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal	56
4.2 Discusión.....	58
4.2.1 Conocimiento del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG	58
4.2.2 Uso y utilidad de la herramienta de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG.....	58
4.2.3 Disponibilidad de la plataforma y datos asociados	59
4.2.4 Diseño y actualización de la plataforma	59
4.2.5 Utilidad e impacto de la herramienta de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG	60
4.2.6 Presión humana en la ignición de un incendio	61
4.2.7 Discusión de resultados enfocados en la variable relacionada a determinar el nivel de predicción del modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal	64
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones	66
5.1 Hallazgos relevantes	66
5.1.1 Hallazgos en relación con el conocimiento y uso del sistema de cartografía de riesgo de incendio forestal	66
5.1.2 Hallazgos relacionados a las variables de presión humana que inciden en la ignición de un incendio.....	66

5.1.4 Conclusiones enfocadas en el objetivo de proponer la inclusión o modificación del modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal.....	68
5.2 Propuesta para la solución del problema planteado	68
Capítulo VI. Propuesta o producto.....	70
6.1 Objetivos de la propuesta	70
6.1.2 Objetivo general.....	70
6.1.3 Objetivos específicos	70
6.2 Enfoque epistemológico de la propuesta.....	70
6.3 Justificación de la propuesta	70
6.4 Estructura de la propuesta.....	72
6.5 Etapas de la propuesta.	72
6.5.1 Etapas del plan de comunicación.....	72
6.5.2 Medios a utilizar	74
6.5.2.1 Capacitaciones	74
6.5.2.2 Correos informativos.....	75
6.5.2.3 Sitio Web	75
6.5.2.4 Panfletos informativos.....	75
6.6 Etapas de la propuesta de modificación de la fórmula del modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal del ACG	75
6.7 Gestión de riesgos.....	76
6.8 Recursos y presupuesto	77
6.8.1 Hardware	78
6.7.2 Software.....	78
6.7.3 Equipo técnico.....	78
6.7.4 Recurso Humano.....	79
Referencias.....	80
Anexos.....	93

Lista de cuadros

Cuadro 1. Actores relacionados a la investigación.....	42
Cuadro 2. Resumen de las asignaciones de valores mediante criterio experto	55
Cuadro 3. Área afectada por cada nivel de riesgo o probabilidad de incendio forestal	57
Cuadro 4. Gestión de riesgos para la propuesta del trabajo final de graduación.....	77

Lista de figuras

Figura 1. Extensión de territorio cubierto por la plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal.	10
Figura 2. Triángulo y Tetraedro del fuego.....	22
Figura 3. Formas de propagación de un incendio.	23
Figura 4. Triada del comportamiento del fuego.	24
Figura 5. Factores que intervienen en el riesgo de incendios forestales.....	30
Figura 6. Esquema del riesgo estático para un incendio forestal.	33
Figura 7. Esquema de conformación del peligro inducido en incendios forestales.	34
Figura 8. Riesgo inducido.....	34
Figura 9. Presión de ignición de un territorio.	35
Figura 10. Riesgo de eclosión.....	35
Figura 11. Probabilidad de Incendio.	36
Figura 12. Modelos de combustible para el área de estudio.....	37
Figura 13. Valoración de la facilidad de uso de la plataforma digital del sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG.....	51
Figura 14. Valoración de los funcionarios en relación con la mejora de la plataforma web del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG.	52
Figura 15. Frecuencia de uso de la plataforma por parte de los funcionarios del Programa de Manejo del Fuego del ACG.....	53
Figura 16. Sistema de Cartografía de Incendios Forestales para el ACG.....	56
Figura 17. Cantidad de hectáreas afectadas anualmente por incendios forestales en relación con años de eventos Niño. Área de Conservación Guanacaste. Período 1997-2017.	61
Figura 18. Mapa de ocurrencia-recurrencia de incendios en el Área de Conservación Guanacaste considerando sus 17 sectores. Período 1997-2017.....	63
Figura 19. Componentes de la Etapa I del plan de comunicación.....	73
Figura 20. Identificación de grupos meta y medios transmisores de información.	74
Figura 21. Etapas para desarrollar en la propuesta de modificación de la plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal.....	76

Abreviaturas y acrónimos

ACG	Área de Conservación Guanacaste
AVHRR	Advance Very High Resolution Radiometer
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONIFOR	Comisión Nacional de Incendios Forestales
COVIRENAS	Comités de Vigilancia de los Recursos Naturales
FAO	Organizaciones de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación
FFDI	Forest Fires Danger Index
GeoBI	Geographical Business Intelligence
GFIMS	Sistema Global de Gestión de Información sobre Fuegos
GIZ	Agencia Alemana de Cooperación Internacional
ICRIF	Índice Combinado de Riesgo de Incendio Forestal
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INISEFOR	Instituto de Investigaciones y Servicios Forestales de la Universidad Nacional
IPIF	Índice de Peligro de Incendios Forestales
IRI	Índice de Riesgo de Incendio
MDE	Modelo Digital de Elevaciones
MDP	Modelo Digital de Pendientes
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectoradiometer
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PMF	Programa de Manejo del Fuego
PNUMF	Programa Nacional de Manejo del Fuego
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
TFG	Trabajo Final de Graduación

Capítulo I. Introducción

1.1 Justificación

Los incendios forestales son un problema recurrente en el planeta, cuyas consecuencias ambientales son graves (Carracedo, 2015). Anualmente, los incendios forestales causan un enorme daño, ya que destruyen propiedades, amenazan la vida y la salud de las poblaciones humanas, así como de los ecosistemas (Grishin, 2003), por lo que se les considera una amenaza en las labores de manejo y restauración realizadas en el ecosistema de bosque tropical seco (Fensham et al., 2003). En los trópicos, la investigación sobre incendios forestales es de gran importancia, dado que, en estos ecosistemas, todos los años ocurren más incendios que en cualquier otra parte del mundo (Cochrane, 2009).

En Costa Rica, de acuerdo con el registro estadístico que lleva el Programa Nacional de Manejo del Fuego (PNMF) del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), de 1998 al 2013 se registra, por año, un promedio de área afectada por incendios forestales de 31 686 ha para un total de 506 998 ha. (MINAE, 2014). En el Área de Conservación Guanacaste (ACG), entre 1997 y el 2017 se afectaron un total de 26 584 ha como consecuencia de los incendios forestales (ACG, 2019). Las estadísticas descritas anteriormente evidencian que los incendios forestales son uno de los principales problemas que afronta el SINAC a escala nacional y regional durante la época seca.

El Área de Conservación Guanacaste (ACG) es una unidad biogeográfica continua que comprende 163 000 ha integradas por cuatro ecosistemas; se extiende desde el área marina en el océano Pacífico, atravesando el bosque seco y lluvioso en el Pacífico hasta las tierras bajas húmedas de la vertiente caribe de Costa Rica. El ACG contiene la más grande y única muestra de bosque seco que se encuentra desde México hasta Panamá, con un tamaño suficiente para permitir su conservación a perpetuidad. Sin embargo, los incendios forestales, en forma repetitiva, afectan al ecosistema de bosque tropical seco cada año, causando graves problemas ambientales como pérdida de biodiversidad y una considerable inversión en recursos humanos y materiales para su control y manejo. Por las razones anteriores, uno de los mayores retos que afronta el Programa de Manejo del Fuego (PMF) del ACG es la detección temprana de estos.

A nivel mundial, se han desarrollado modelos y sistemas cartográficos de riesgo de incendios forestales con el objetivo de predecir la posible ocurrencia de estos y, de esa forma, minimizar

los altos costos que implica la atención de un incendio, así como la pérdida de recursos naturales. Esto hace necesario el desarrollo de modelos de cartografía de riesgo de incendios forestales que puedan ayudar a predecir y prevenir la ocurrencia de estos, así como disminuir el daño asociado a los ecosistemas y poblaciones aledañas al impacto de estos fenómenos.

En el ACG, se ha implementado un modelo interactivo de cartografía de riesgo de incendios forestales accesible para algunos funcionarios del SINAC, disponible en la dirección electrónica gestion.incendiosforestales.cr, basado en la adaptación de la fórmula Byram y el modelo FireStar (Vega-Araya et al., 2017). Este modelo, a pesar de que fue construido con base en parámetros utilizados por otro modelo en Marruecos, es el primer intento por sistematizar y adaptar metodologías que han sido probadas en otras regiones al trópico, específicamente al bosque seco.

La presente investigación pretende evaluar el modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales en el ACG y describir las variables que integran el modelo para llegar a valorar o determinar por medio de una propuesta, si es posible la incorporación o adaptación de parámetros en la fórmula que estructura el modelo y que interfieren en la probabilidad de ignición de los incendios forestales. La intención es adaptarlo al entorno de Costa Rica y mejorar la probabilidad de predicción y precisión de ignición de las áreas propensas a ser afectadas cada año por incendios forestales en el ACG.

1.2 Delimitación de la investigación

La investigación se limitará al análisis de la utilidad del modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal usado por los funcionarios del ACG y personas interesadas en la temática, así como la evaluación de la efectividad del sistema y de los diversos componentes que integran el modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales utilizado por el personal del PMF del ACG. El área específica de incidencia corresponde al bosque seco tropical ubicado en las áreas protegidas del Parque Nacional Santa Rosa, el Parque Nacional Guanacaste, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal y la Estación Experimental Forestal Horizontes. También, contempla un área buffer de 1 km a lo largo de estas áreas silvestres protegidas. En el Parque Nacional Guanacaste se eligió una cota de 1 300 msnm, ya que, en esta zona, a mayor elevación, no existe problemas de incendios.

1.3 Antecedentes

A continuación, se resume el conocimiento de la problemática en términos internacionales, nacionales, regionales e institucionales.

1.3.1 Antecedentes internacionales

A través del tiempo, han sido desarrollados diversos modelos para estimar el Índice de Peligro de Incendios Forestales (IPIF), en los que se han considerado, principalmente, variables como tipo de vegetación y composición del combustible (Burgan et al., 1998), variables meteorológicas y combustibles forestales (Viegas et al., 1999; Mathur et al., 1984; Leathwick & Briggs, 2001). Actualmente, en el ámbito mundial existen varios modelos para identificar áreas geográficas con peligro de incendios. Entre los que se destacan el Canadian Forest Fire Danger Index (Lee et al., 2002; Stocks et al., 1989) que, aunque originalmente fue diseñado para un tipo estandarizado de bosque, ha sido utilizado para la estimación del peligro de incendio en muchos países (Viegas et al., 1999; Carvalho et al., 2008). Los modelos descritos, si bien no son recientes, han evolucionado y se han actualizado con nueva tecnología e información.

La Unión Europea ha propuesto tres grupos de índices para determinar el riesgo basado en su escala temporal (Joint Research Center, 2002). El primer tipo es el índice estructural y de largo tiempo, que muestra, principalmente, información estática en una escala global (Cheret & Denux, 2011). Este tipo de índice no cambia en cortos periodos de tiempo. Entre sus componentes están la elevación, el tipo de vegetación, el uso de la tierra, la pendiente, la exposición, el aspecto, la distancia a caminos y cercanía a áreas pobladas (Pelizzari et al., 2008; Puri et al., 2011), las variables climáticas y suelos (López et al., 2008), así como la densidad de población (Li et al., 2009).

El segundo tipo de índice es el dinámico y de corto tiempo, que cambia moderada y continuamente a través del tiempo, debido a las condiciones del tiempo y de la vegetación. Están formulados para detectar la flamabilidad de los combustibles forestales durante la temporada de incendios y están enfocados en la probabilidad de ignición y propagación de los incendios forestales (Salinero y Chuvieco, 2003). Por ejemplo, la flamabilidad de la vegetación está influenciada por la cantidad de combustible vivo y muerto, su contenido de humedad y tipo de vegetación (Albini, 1976; Rothermel et al., 1986).

El contenido de humedad en la vegetación, al estar relacionado a las condiciones meteorológicas por cada tipo de combustible, necesita que el modelo dinámico sea calculado diariamente al actualizar el mapa de combustible, al igual que las variables meteorológicas como la temperatura, la humedad relativa, la precipitación, junto con una aproximación de la cantidad de combustibles vivos y muertos (Carrao et al., 2003).

Finalmente, el tercer tipo de índice es el combinado, el cual incluye factores estructurales y dinámicos (Graña & Duro, 2008). Para este modelo, la mayor dificultad radica en definir cómo combinar de la forma más efectiva las variables relevantes, ya que generalmente se definen por el específico conocimiento de experto (Caetan et al., 2002).

1.3.2 Antecedentes nacionales

En Costa Rica, desde 1978 y hasta el presente, se han realizado, de forma sistemática, importantes esfuerzos a nivel organizacional, preventivo, político legal y operativo para prevenir y liquidar los incendios forestales y reducir su impacto en los ámbitos sociales, económicos y ambientales. Estas acciones han ubicado a Costa Rica como un referente a nivel Latinoamericano y del Caribe en temas de prevención y control de incendios forestales (CONIFOR, 2012).

En 1997, se creó la Comisión Nacional sobre Incendios Forestales (CONIFOR), ente responsable de la planificación, formulación, gestión, apoyo, ejecución, evaluación y seguimiento de las acciones estratégicas interinstitucionales vinculadas con el manejo del fuego en Costa Rica (Vega-Araya et al., 2015).

Ese mismo año, se lanzó la primera Estrategia Nacional de Manejo del Fuego 1997-2000, en la cual se establecieron las primeras acciones para el diseño de programas institucionales que enfrentaran de manera permanente la problemática de los incendios forestales y el uso del fuego en los ecosistemas agrícolas (SINAC, 1997). Después de esa primera estrategia, se han realizado y oficializado tres más, las cuales han establecido la plataforma de trabajo en planificación, seguimiento y evaluación de las diversas actividades que se llevan a cabo a nivel nacional en esta materia.

Sin embargo, hasta los últimos años, se ha intentado desarrollar sistemas de alerta temprana a escala local y nacional que permitan la detección oportuna de incendios forestales para

minimizar sus impactos. En Costa Rica, el único modelo desarrollado con el objetivo de predecir el riesgo de ignición de un incendio forestal ha sido auspiciado por el plan de cooperación triangular entre Costa Rica, Marruecos y Alemania (Vega-Araya et al., 2017). El proyecto se enfocó en acciones de manejo del fuego en las que se consideró la problemática que enfrenta el país en materia de incendios forestales y donde Marruecos tiene alta experiencia pues ha avanzado en la adaptación de los modelos españoles y franceses para crear su propio modelo de sistemas de cartografía de riesgos con resultados muy positivos en la predicción de incendios forestales.

J. Díaz (comunicación personal, 22 de mayo 2019) quien es el coordinador del PMF del ACG comenta que, en Marruecos, los resultados han sido tan satisfactorios, puesto que el área afectada por incendio se redujo de 14 ha a 2,34 ha, tras cuatro años de implementación. En este modelo, intervienen variables estáticas y dinámicas, sin embargo, el inconveniente de su aplicación en el país radica en que es necesario adaptar los pesos asignados a algunas variables debido a que las condiciones geográficas y climatológicas de Costa Rica varían con respecto a Marruecos por la diferencia latitudinal y altitudinal. Además, la variable presión o influencia de las actividades humanas en el paisaje está prácticamente ausente en el modelo a evaluar.

1.3.3 Antecedentes regionales

El área núcleo del Área de Conservación Guanacaste (ACG) comprende un solo bloque biogeográfico ininterrumpido de área silvestre protegida de 163 000 ha que se extiende desde el área marina en los alrededores del archipiélago Islas Murciélagos en el océano Pacífico, pasando por la meseta de Santa Rosa hasta la cima de los volcanes Orosí, Cacao y Rincón de la Vieja de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, continuando hasta las tierras bajas del lado caribe de Costa Rica. En este bloque protegido, se encuentran integrados cuatro de los cinco ecosistemas principales del trópico: marino/costero, bosque seco, bosque nuboso y bosque lluvioso; además, representa el único transepto conservado de este tipo en el nuevo mundo (Área de Conservación Guanacaste, 2018). Cabe destacar que la mayor y única muestra de bosque seco que se encuentra desde México hasta Panamá, con un tamaño lo suficientemente grande para permitir su conservación a perpetuidad, se localiza en el ACG.

Desde 1985, se inicia con las primeras acciones en el campo de la supresión de incendios forestales en el bosque seco del ACG, mediante el establecimiento de un incipiente PMF

dándole énfasis al control, especialmente en sitios cubiertos de Jaragua, el cual se constituye en el combustible más peligroso durante la época seca (Área de Conservación Guanacaste, 2018). Entre los objetivos del PMF se encuentran prevenir, controlar y liquidar los incendios forestales en el área silvestre protegida del ACG para favorecer los procesos naturales de regeneración del bosque tropical seco; capacitar y mantener un programa calificado en la prevención y control de incendios forestales en el ACG y realizar actividades educativas y divulgativas, para inducir un cambio cultural para el uso racional del fuego.

Adicionalmente, se creó una cartografía de riesgo, en fase piloto, para el ACG, ya que es la única área de conservación que cuenta con una base de datos de todos los incendios forestales ocurridos entre 1997 y hasta la actualidad. Si este plan piloto se logra desarrollar y replicar en el resto de las áreas de conservación de Costa Rica, el país podría tomar decisiones operativas y posicionar los recursos, que son escasos, en las áreas donde se pueden tener situaciones complejas de riesgo a incendios.

Para crear el modelo, se utilizaron datos aportados por el ACG, ya que contienen la información base de las áreas donde se presentaron los incendios forestales en un histórico no menor a 10 años, así como el punto de inicio de cada uno, área y tipo de vegetación afectada, tipo de incendios que se presentaron y la hora de inicio. Aparte de la conformación de datos históricos de ocurrencia de incendios, se levantaron mapas base, a partir de la creación de un mapa de vegetación asociada, así como el tipo de combustible disponible. Adicionalmente, con las estaciones meteorológicas disponibles en la zona de estudio se utilizaron los datos históricos provistos por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Con ellos, se generó pronósticos 2 veces al día (4:00 a.m. y 11:00 a.m.), por medio de la interpolación de los datos de temperatura, humedad, presión atmosférica, precipitación y viento (intensidad y dirección) para 539 puntos del ACG.

Estos puntos están georreferenciados en un mapa y se alimentan de la información sistematizada que posee el software. Junto con la información diaria del tiempo meteorológico, es posible ubicar áreas donde se podrían presentar incendios forestales. Con esta información sistematizada, el Instituto de Investigaciones y Servicios Forestales (INISEFOR), de la Universidad Nacional, en conjunto con la cooperación de Marruecos y la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ), y con la empresa de software ADDAX, elaboró un mapa estático que muestra cómo se ha comportado el histórico de los incendios forestales para el ACG. El mapa estático es para labores ingenieriles en tiempo de no fuegos (prevención).

Además, sirve para determinar necesidades de equipo, personal y sirve de base a una segunda capa de tipo dinámico y que define el riesgo de ignición de un incendio, la cual se actualiza automáticamente dos veces al día con los datos meteorológicos (humedad relativa, temperatura, lluvia, velocidad y dirección del viento), aportados por el IMN.

1.4 Planteamiento del problema

La ocurrencia de incendios forestales es un proceso complicado e influenciado por varios factores ambientales con interacciones complejas (Xiao et al., 2015). En la ocurrencia de incendios, influyen factores físicos como la topografía y el clima (Moritz, 2003; Taylor et al., 2008 & Vasilakos et al., 2009), biológicos, entre los cuales se incluyen la estructura y el funcionamiento de la comunidad vegetal (Manzo et al., 2009), así como antropogénicos (Grishin, 2003; Yang et al., 2007). En las décadas recientes, anomalías climáticas como sequías y déficit de lluvias, inducidas por fenómenos como *El Niño*, han sido más frecuentes, por lo que se da un incremento de ocurrencia de incendios forestales, especialmente en los trópicos (Leighton & Wirawan, 1986; Cochrane et al., 1999). Gracias a fenómenos tan cambiantes, predecir las ocurrencias de incendios forestales y comprender sus factores asociados es un reto para la ciencia y un proceso clave para diseñar estrategias de prevención y manejo del fuego (Gollberg et al., 2001; Tian et al., 2013).

Asimismo, el análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales puede proveer información nueva y guiar los esfuerzos en el planeamiento y en la reducción del riesgo por incendios (Yang et al., 2007). Para efectos de esta investigación, el riesgo de incendio forestal se entiende como la probabilidad de que un incendio ocurra en un área particular (Chou et al., 1993). Determinar el riesgo de ignición de un incendio forestal es el paso más importante, ya que conocer dónde está el riesgo más alto es esencial para minimizar la amenaza a la vida, a la propiedad y a los recursos naturales (Adab, Kanniah & Solaimani, 2013).

Con el objetivo de reducir los daños por el fuego, de dirigir las acciones de combate y de aumentar la eficiencia en el uso de los recursos humanos y materiales, es imprescindible contar con estrategias de prevención y control de incendios. El éxito en el diseño y ejecución de planes específicos en el manejo integral del fuego que incorporen dichas estrategias depende, en gran medida, del conocimiento de un IPIF. De esta forma, es indispensable generar un IPIF que sea capaz de reflejar la posibilidad de que un incendio ocurra y que considere factores

meteorológicos, combustibles forestales, rasgos topográficos y la influencia de las actividades humanas en el paisaje.

En la variable antropogénica, las actividades humanas en áreas pobladas pueden dramáticamente incrementar el riesgo de incendios, ya que los habitantes pueden causar incendios accidentales (Sivrikaya et al., 2014). También, los bosques localizados cerca de caminos tienen una mayor tendencia a ser afectados por el fuego; la distancia a las poblaciones y tierras cultivadas es un factor fundamental para predecir la posibilidad de un incendio forestal (Jaiswal et al., 2002).

La variable antropogénica, que está casi ausente en el modelo actual aplicado en el ACG, se pretende incorporar en la presente investigación, con el objetivo de analizar la importancia de la presión humana en la evaluación del riesgo de incendios forestales, incorporándola en el modelo de riesgo de incendio forestal. De esta forma, en caso de encontrarse la necesidad de incorporar variables que aumenten la probabilidad de predicción y precisión de ignición de las áreas propensas a ser afectadas por incendios forestales, se presentará una propuesta para la posible incorporación o adaptación de parámetros en la fórmula que estructura el modelo de cartografía de riesgo existente. La investigación, además, tratará de describir el desempeño y la funcionalidad del modelo actual de cartografía de riesgo de incendios forestales con el objetivo de contestar la pregunta: ¿Qué variables, producto de la evaluación del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales, deben incorporarse para mejorar el uso y la aplicación del modelo en el ACG?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Evaluar el modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales utilizado actualmente en el Área de Conservación Guanacaste para la posible incorporación de variables que aumenten la probabilidad de predicción y precisión de ignición de las zonas propensas a ser afectadas por incendios forestales.

1.5.2 Objetivos específicos

Describir el uso que el personal del Área de Conservación Guanacaste hace del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales, para determinar una posible propuesta de modificación.

Determinar la existencia de variables de presión humana que pueden interferir en el inicio de los incendios forestales para la incorporación de estas en el modelo de cartografía de incendios del Área de Conservación Guanacaste.

Determinar el nivel de predicción del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste en la detección de incendios forestales, a partir del análisis retrospectivo de los incendios ocurridos entre 2016 y 2017.

Proponer la modificación del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales a partir de un diagnóstico previo de este.

1.6 Marco contextual

La investigación se desarrolló en el ACG, la cual comprende los cantones de Liberia y La Cruz, ubicados en el extremo noroeste de la provincia de Guanacaste, Costa Rica. La *Figura 1* muestra el foco de análisis, que corresponde al ecosistema de bosque seco contenido en las áreas protegidas Parque Nacional Santa Rosa, Parque Nacional Guanacaste, el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal, así como la Estación Experimental Forestal Horizontes del ACG. El área mostrada en el mapa tiene la curva de nivel 1 300 msnm como límite de elevación, ya que por elevación y cambio en la vegetación no se presentan incendios forestales. También, se consideró un área de amortiguamiento de 1 km alrededor de las áreas silvestres protegidas mencionadas. Estas áreas, recurrentemente, son susceptibles a los incendios forestales durante la temporada seca de cada año, que se extiende desde diciembre a mediados de mayo. La selección de ese territorio se debió a que es el área en la que se aplica el Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales, modelo base para esta investigación.

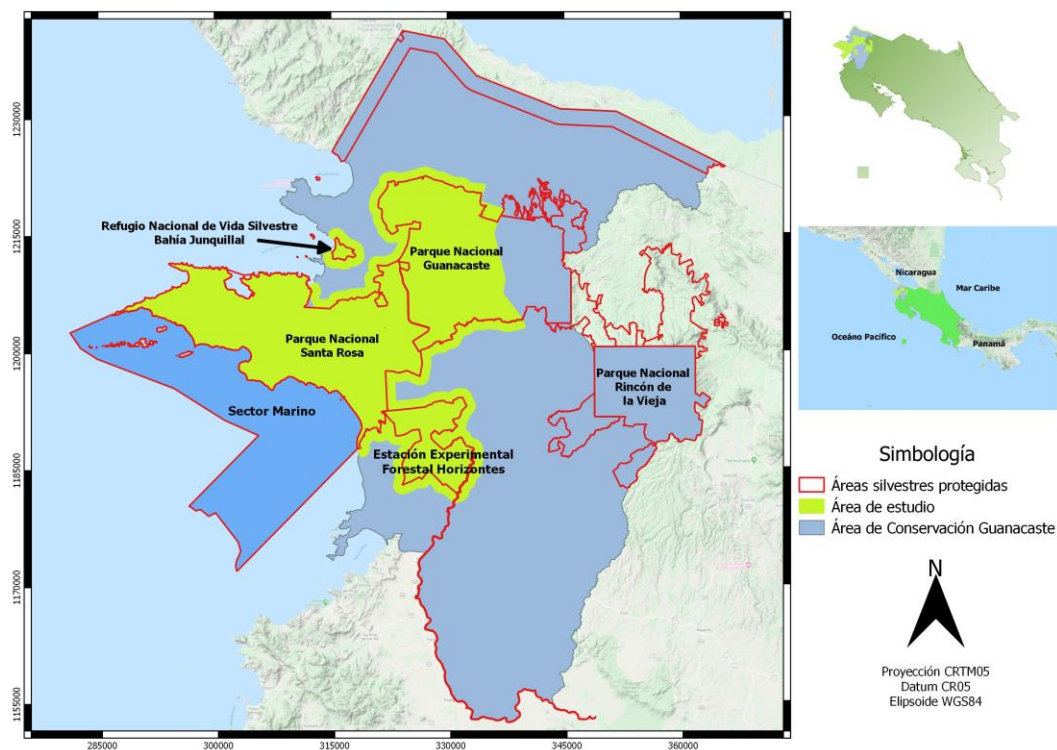


Figura 1. Extensión de territorio cubierto por la plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal. Fuente: Vega-Araya (2016).

El área comprende alrededor de 65 000 ha de bosque tropical seco que constituye la última y mayor muestra de este bosque, localizado desde México hasta el norte de Panamá. Además, presenta un proceso de recuperación único en el país (Sánchez et al., 2006); este ecosistema se extiende desde el margen del océano, en la Península de Santa Elena, hasta la base de los volcanes Orosí y Cacao. Por tanto, la amplia distribución y diversas condiciones medio ambientales en que se encuentra este ecosistema pueden originar variaciones en la composición y estructura, y conservar algunas características propias, sobre todo fisionómicas, como la adaptación al déficit temporal de agua.

En el ecosistema de bosque seco del ACG, en promedio, la precipitación anual varía entre 900 a 1 000 mm, aunque en algunos años puede ser más elevada. La temporada seca dura de cinco a siete meses y medio; por lo general, se extiende desde diciembre a mediados de mayo (Villalobos, Retana y Acuña, 2000). Se puede encontrar un bosque seco denso o ralo con características xerofíticas, pero, durante la época seca, gran parte de sus árboles no tienen follaje, muchas especies tienen espinas y corteza áspera (Bolaños & Watson, 1993); además, presenta uno o dos estratos y es relativamente deficiente en su composición florística.

La escala de temperaturas varía, ya que los rangos nocturnos son de 16 a 23 °C, mientras que, en el día, son de 26 a 38 °C. El área de estudio cruza alrededor de nueve zonas de vida, que abarcan la costa del pacífico seco tropical (Janzen, 1986) y contiene todos los tipos de vegetación que encierra el hábitat de bosque seco a lo largo de su distribución en Mesoamérica (Janzen, 1986). Sin embargo, este ecosistema ha sido una zona preferida para el desarrollo agrícola y localización de asentamientos humanos por sus características climáticas y edáficas (Sánchez et al., 2005), por lo que, a pesar de la amplia variedad de vegetación, la mayoría de los hábitats han sido destruidos o transformados para otros usos y actividades, tales como ganadería, siembra de pastos y otras actividades agrícolas (Janzen, 1986).

Sobre el área de estudio, el ACG se enfocó en el proceso de restauración del amenazado bosque seco a partir de 1985, con el objetivo de evitar y mitigar los impactos de las actividades humanas (Blanco, 2001). Por esta razón, este hábitat, gran parte alterado y convertido en potreros, muestra diferentes etapas de regeneración natural en la actualidad, mediante una estrategia pionera basada en el control de incendios y silvicultura reconocida mundialmente (Masís 2009, Janzen 1988).

1.6.1 Logística

El puesto Pocosol, ubicado en el Parque Nacional Guanacaste funcionó como base para la logística de la investigación. Ahí, se encuentra la base operativa del PMF, el cual está compuesto por un coordinador del programa y cinco funcionarios dedicados a tiempo completo a las actividades propias de dicho programa. Para desarrollar la investigación, se mantuvo contacto regular con los sujetos de información y se me brindó el apoyo y las facilidades con que cuenta la institución en relación con la parte operativa y acceso a la información.

La recolección de información en el ACG se realizó por medio de entrevistas y cuestionarios que fueron solicitados por medio de la vía formal al encargado del programa para efectos de los permisos correspondientes. Asimismo, algunas de las giras de campo se realizaron en el contexto de las labores rutinarias de los funcionarios cuando se efectuaron labores de vigilancia o bien combate de incendios, por lo que la observación participante fue clave para extraer información en esta temática. Para efectos de recopilar información de otros actores externos al

ACG, fue necesario la aplicación de entrevistas y encuestas a profesionales del IMN, así como al encargado nacional de Manejo del Fuego del SINAC.

1.6.2 Tipo de producto o propuesta de investigación

El producto esperado de la investigación fue un diagnóstico posterior a una evaluación integral del sistema de cartografía de riesgo del ACG, en el que se planteó una propuesta de modificación o mejora del modelo al encontrar elementos que necesitaban ser cambiados o reestructurados. Este diagnóstico trató de contestar interrogantes como: ¿Qué tan bien está funcionando el modelo?, ¿está siendo usado en forma efectiva por el personal del ACG? Y, ¿es efectivo en el pronóstico de la detección de probabilidad de ignición de un incendio forestal? Finalmente, se exploró la posibilidad de que dicho modelo pueda ser replicado a otras áreas de conservación o paisajes también propensos a incendios forestales.

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Generalidades

La extensión territorial de Costa Rica en su componente terrestre es de 51 100 km² con una cobertura boscosa de 2 677 304 ha, según el último inventario forestal con datos actualizados al 2013 (MINAE, 2014). El bosque sigue siendo la cobertura predominante en el país y representa el 52,4% del total de la superficie terrestre de Costa Rica (MINAE, SINAC, 2013), lo cual hace que se sitúe probablemente como el primer país tropical en recuperar su cobertura forestal, en lugar de perderla (MINAE, SINAC & CONAGEBIO, 2013).

El mantenimiento de la cobertura boscosa, así como el establecimiento de un sistema de áreas silvestre protegidas, unidas a una serie de características como su situación geográfica en el Neotrópico, su historia geológica, sus dos costas y varias cordilleras que proveen numerosos y variados microclimas, convierten a Costa Rica en un país con una alta diversidad de especies. Por ejemplo, Costa Rica tiene más de 90 000 especies conocidas, es decir, aproximadamente el 4,5% de la biodiversidad conocida en todo el mundo (Obando, 2007). Con más de 200 países en el mundo, Costa Rica se coloca entre los 20 países con más alta diversidad de especies, expresada en número total de especies.

2.1.1 Área de Conservación Guanacaste y el manejo de incendios

El ACG se originó en 1986 con la visión de restaurar y conservar a perpetuidad el ecosistema completo de bosque seco tropical y sus ecosistemas adyacentes asociados de bosques nubosos, lluviosos y zona marina/costera. Uno de los retos iniciales para consolidar el ecosistema de bosque seco fue revertir los impactos causados por más de 400 años de ocupación humana en actividades como deforestación, ganadería, agricultura, entre otros. Para lograr esta meta, el ACG ha dirigido sus esfuerzos en detener los incendios que amenazan el bosque seco y su fauna durante la temporada seca.

En los aspectos institucional y organizacional, el ACG opera bajo una única dirección administrativa y operativa, cuyos funcionarios trabajan en programas técnicos especializados en distintas áreas, tales como: Educación Biológica, Control y Protección, Restauración y Silvicultura, Investigación, Sectores, Ecoturismo, Manejo del Fuego, Tecnologías de Información, Administración y Recursos Humanos, que dependen de una combinación de

recursos económicos provenientes de un Fondo Patrimonial, de fondos de gobierno y de donaciones nacionales e internacionales privadas y públicas.

Los modelos operativos del ACG han estado basados en una serie de principios; entre ellos, que la conservación debe responder a la realidad biológica, social y económica de la región; las decisiones deben ser tomadas en la región; el área silvestre debe ser considerada como un sector productivo para la economía de la región y el país; y, que la conservación de calidad debe ser sostenible económicamente en el tiempo. En el caso de la problemática de los incendios forestales, el modelo operativo del ACG para la prevención, vigilancia y liquidación de estos está bajo la responsabilidad del PMF, el cual se describe a continuación.

2.1.2 Programa de manejo del fuego

Dentro de la estructura del ACG, uno de los principales actores en el desarrollo de la investigación es el Programa de Manejo Integral del Fuego del ACG, cuya misión es proteger los recursos naturales y culturales existentes tanto en las áreas silvestres protegidas, como en el agropaisaje de esta. Su trabajo está fundamentado en las regulaciones ambientales del país, tales como la Ley General del Ambiente, la Ley Forestal, la Ley de Creación del Servicio de Parques Nacionales, la Ley de Conservación de la Vida Silvestre, la Ley de Biodiversidad y sus reglamentos, así como las diferentes políticas y estrategias relacionadas a la temática de incendios forestales.

Una de las principales actividades que atiende el PMF es la prevención, vigilancia, control y liquidación de incendios forestales para favorecer los procesos naturales de regeneración del bosque tropical seco. También, se enfoca en realizar actividades de capacitación y formación de brigadas de bomberos forestales, así como campañas de educación y divulgación con el objetivo de inducir un cambio cultural para el uso racional del fuego.

Para prevenir y contrarrestar con prontitud las emergencias por incendios forestales que se presenten dentro de áreas silvestres protegidas y las zonas de amortiguamiento del ACG, el PMF cuenta con cinco bomberos forestales. Además del personal permanente, existen bomberos voluntarios que integran un total de seis brigadas de incendios que apoyan al ACG antes y durante las emergencias de incendios.

Para llevar a cabo esta labor, los funcionarios utilizan una serie de recursos tales como herramientas manuales, equipos de seguridad personal especializados para bomberos

forestales, vehículos extintores todo terreno, equipos especializados para el control de incendios, radios de comunicación entre otros. A continuación, se describen algunas de las principales acciones que realiza el PMF del ACG.

2.1.2.1 Modelos operativos de prevención, vigilancia, control y liquidación de incendios forestales

El modelo operativo utilizado para el cumplimiento de los temas inherentes al PMF del ACG se realiza a través del diseño de actividades desarrolladas durante el año. Entre las actividades que destacan, se describen las siguientes:

2.1.2.2 Ingeniería de campo de apoyo al control de incendios forestales

Se realiza previo a la temporada crítica de incendios forestales, específicamente, en los inicios de la temporada seca (noviembre a enero), e incluyen: rondas corta fuegos, rondas de cerca, rehabilitación de vías internas de acceso, verificación de estados de combustibles, reparación de equipo, verificación de sitios de abastecimiento de agua.

2.1.2.3 Detección de incendios forestales

Con el objetivo de detectar los incendios, se cuenta con un mirador ubicado en Lomas Tendal, desde donde se obtiene una visión general del sector seco del ACG. En este sitio, se ubica un puesto de observación donde se efectúa la vigilancia durante 8 horas al día en la época seca. Desde ese punto, los funcionarios informan periódicamente, vía radio, al puesto de Pocosol, el cual es la base operativa del programa, sobre indicios de fuegos que constituyan peligro de incendios forestales dentro del área silvestre protegida. La vigilancia también se apoya desde torres ubicadas en sitios estratégicos como Loma Coyote en el Parque Nacional Guanacaste y otra, en la Estación Experimental Forestal Horizontes y el Cerro Inglés, ubicado en la Península de Santa Elena.

2.1.2.4. Control y liquidación de incendios forestales

Una vez que se detecta un incendio forestal, se activa por medio del protocolo del comando de incidentes la movilización de personal capacitado con equipo y herramientas básicas, el cual tiene la misión de controlar y liquidar cualquier incendio en el tiempo más corto posible.

2.1.2.5 Operativos en carretera

En temporada de alta visitación, con el objetivo de informar a los usuarios sobre el buen uso de las ASP, controlar el tráfico de especies y prevenir incendios forestales, se organizan retenes en carreteras como parte de las actividades del programa.

2.1.2.6 Capacitación

Se efectúan reuniones y capacitaciones a brigadistas voluntarios de comunidades cercanas al ACG, así como al personal del ACG en diversos campos que abarcan temas sobre manipulación de herramientas, uso de la tecnología, curso de bombero forestal básico y avanzado, entre otros.

2.1.2.7 Educación

Se efectúan actividades de divulgación y educación dirigidas a parceleros, ganaderos, escolares y público en general del agro paisaje del ACG. Se realizan, principalmente, charlas informativas, charlas escolares, visitas a fincas limitantes con el ACG, formación de brigadas de bomberos forestales voluntarios y comités de vigilancia de los recursos naturales (COVIRENAS).

A pesar de los esfuerzos y avances en la restauración del bosque y en la consolidación de un sistema de áreas silvestres protegidas, en las últimas décadas, una de las principales amenazas al ecosistema de bosque seco es la gran variedad de daños ocasionados por los incendios forestales. Esto hace necesario el desarrollo de modelos de cartografía de riesgo de incendios forestales que puedan ayudar a predecir y prevenir la ocurrencia de estos y el daño asociado a los ecosistemas y poblaciones aledañas al impacto de estos fenómenos.

2.2. El bosque seco y los incendios forestales

El bosque tropical seco se puede definir como un tipo de vegetación con predominancia de árboles de hoja caduca, con una temperatura media anual de $\geq 25^{\circ}\text{C}$, con un rango entre 700 y 2 000 mm de precipitación total y con la presencia de tres o más meses secos al año (precipitación < 100 mm / mes) (Sánchez et al., 2010). El bosque seco tropical y algunos ecosistemas asociados son muy susceptibles a los incendios forestales debido a la presencia

de una larga estación seca de hasta 8 meses y una precipitación menor a 100 mm (Calvo et al., 2013).

Antes de la llegada de los españoles a América, el bosque tropical seco llegó a cubrir el 17% de la superficie del planeta (Murphy & Lugo, 1986). A finales del siglo XV, este frágil ecosistema en Mesoamérica cubría aproximadamente 550 000 km² (Janzen, 1988) y se distribuía desde la Península de Nicoya, y la parte norte de la región Pacífico Central de Costa Rica, hasta el oeste del piedemonte de las montañas de Mazatlán en México (Janzen, 2004; Stoner & Timm 2004). Para Costa Rica, se estima que antes de que comenzara la deforestación y luego de la apertura de áreas para el establecimiento de la ganadería extensiva en Guanacaste, el bosque seco cubría aproximadamente 400 000 ha, que equivale al 8% de la extensión total del país (Jiménez et al., 2016).

Para 1950, esa extensión fue reducida a 40 200 ha y pocas décadas después llegó casi a desaparecer, con excepción de algunas áreas remanentes protegidas, por ejemplo, el Parque Nacional Santa Rosa, el Parque Nacional Palo Verde y la Reserva Biológica Lomas Barbudal, entre otras. Para mediados de 1980, menos del 2% del bosque seco quedaba remanente en forma intacta en Mesoamérica (Janzen, 1986). Una de las últimas investigaciones sobre el bosque seco estima que existen 1 795 km² del total mencionado en los párrafos anteriores (Portillo & Sánchez, 2010).

Una serie de factores amenazan la persistencia del bosque seco tropical, incluidos entre estos los incendios forestales y las condiciones climáticas del planeta (Suresh et al., 2010). En el planeta, se consumen aproximadamente 9 200 millones de toneladas de biomasa por año, de las cuales solo los incendios forestales acaban con unos 5 130 millones de toneladas, de las que se emiten 3 431 millones de toneladas de CO₂ al ambiente (FAO, 2007).

2.3. Los incendios forestales

Los incendios forestales son fenómenos recurrentes a lo largo del planeta y causan graves problemas ambientales (Carracedo, 2015). Anualmente, provocan un enorme daño, ya que destruyen propiedades, amenazan la vida y la salud de las poblaciones humanas, así como de los ecosistemas (Grishin, 2003). Por lo general, los incendios se consideran como un desastre, puesto que impactan el ambiente y causan pérdidas económicas a la población, tales como pérdida de ingresos relativos al uso de la tierra, destrucción y pérdida de propiedades, daños a

la agricultura y pérdida de biodiversidad (Merlo & Rojas, 2000; Wenliang et al., 2010). También, la deforestación, así como la desertificación están entre los más importantes efectos de los incendios forestales (Hernández et al., 2006).

El SINAC define incendio forestal como "fuego que se propaga sin control alguno en cualquier tipo de ecosistema, producido por la acción del ser humano o causado por la naturaleza, ocasionando serios daños ecológicos, climáticos, económicos y sociales" (Comisión Nacional sobre Incendios Forestales, 2014). Sin embargo, a pesar de que esta definición está enfocada principalmente en los efectos negativos del fuego sobre los ecosistemas, este no es un elemento desconocido por la naturaleza, ni incompatible con la existencia de vegetación, ya que el fuego ha condicionado en otras latitudes la presencia y distribución geográfica de los bosques a lo largo de miles de años (Álvarez, 2000).

El fuego tiene un papel importante en la composición y estructura de muchos bosques, así como en el mantenimiento de la diversidad de la vegetación, en la regeneración de especies y en el movimiento de nutrientes en el suelo. También puede considerarse como un instrumento utilizado por el ser humano en diversas tareas como quema de rastrojos, pastizales y limpieza de montañas. (Ainswoth & Doss, 1995).

El establecimiento de políticas y principios a nivel mundial, en relación a los incendios forestales, es complejo por las características particulares de cada región geográfica, así como la divergencia en la opinión pública en los diversos sectores de la sociedad. Por lo general, las políticas relacionadas a los incendios forestales reflejan el impacto físico, los diferentes tipos de creencias sociales, así como las consecuencias económicas en las poblaciones locales. Cuando el impacto físico de los incendios es dramático y los efectos en los sistemas de producción rural (sobre todo en los pastizales) son destructivos, como en la zona saheliana-sudanesa, las políticas en este tema tienden a prevenir por completo los incendios (Kane, 1998). Cuando el impacto es menos dramático y los efectos generales se consideran positivos, las políticas aspiran al manejo del fuego más que a su prevención (FAO, 2007).

Para el caso de Costa Rica, se estima que aproximadamente el 99% de los incendios forestales son de tipo antropogénico, ya sea causados de manera involuntaria, negligente o en forma premeditada (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2012). En las estadísticas reportadas entre los años 2007 al 2012 por el PNMF, se estimó que el 46.06% de las causas por quemas se producen por actividades agropecuarias, 21.01% por vandalismo, 12.52% por

actividades de caza y un 7.68% por venganza. Estas corresponden a las cinco principales causas de incendios (SINAC, 2012).

En los ecosistemas originales de Costa Rica, los incendios naturales fueron muy raros, ya que existen pocos ejemplos de ecosistemas que sí se favorecen con el fuego (Vega-Araya, 2015). Esta tesis es similar a la de Hardesty et al., (2005) y Myers (2006), los cuales indican que, en Costa Rica, el fuego no ha sido un modulador en la conformación de los ecosistemas originales, puesto que estos no están adaptados de ninguna forma al fuego. De esta manera, el fuego, al no ser un elemento natural asociado al bosque seco, desde el punto de vista de ecosistemas, un incendio forestal produce efectos ecológicos mayoritariamente adversos en zonas de recuperación y en áreas silvestres protegidas si se originan en forma recurrente (Vega-Araya, 2015). Según Janzen (2002), para el caso del ACG, no hay evidencia de pastizales (sabanas) mantenidas por fuegos naturales, aunque indica que las culturas precolombinas probablemente quemaban algunas cimas de cerros con fines ceremoniales. Para reafirmar esta idea, según Ginsberg (1998) citado por Janzen (2002), mientras los fuegos naturales pudieron ser parte de la biología del bosque del ACG en algún tiempo distante, no lo es ahora.

En Costa Rica, los incendios forestales se caracterizan por ser generalmente superficiales, dado que el fuego consume la necromasa, la hojarasca y los estratos bajos del bosque (Vega-Araya, 2015). Por otra parte, los incendios de copas, caracterizados por consumir parte de la biomasa aérea, son más escasos en Costa Rica (Valero et al., 2007).

2.4 Gestión de los incendios forestales en Costa Rica

En Costa Rica, con el objetivo de reducir la afectación por incendios forestales desde 1978 y hasta el presente, se han efectuado acciones en los ámbitos organizacional, político legal y operativo para la prevención y control de este fenómeno (Vega-Araya, 2015). El logro ha sido minimizar el impacto de los incendios forestales desde el punto de vista social, económico y ambiental. Estas acciones han posicionado al país como un referente a nivel Latinoamericano y del Caribe en tópicos de prevención y control de incendios forestales (Comisión Nacional sobre Incendios Forestales, 2012).

En 1997, se creó la CONIFOR, instancia adscrita y coordinada por el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio del Ambiente, Energía (MINAE). La CONIFOR es el ente responsable y coordinador de las acciones de manejo del fuego en Costa Rica. Según el

decreto ejecutivo No 26399-MINAE (1997), se le asigna a la CONIFOR la planeación, formulación, gestión, apoyo, ejecución, evaluación y seguimiento de las acciones estratégicas interinstitucionales relacionadas con el manejo del fuego. Ese mismo año, se lanzó la primera Estrategia Nacional de Manejo del Fuego 1997-2000, en la cual se establecieron programas institucionales para enfrentar la problemática de los incendios forestales y el uso del fuego en los ecosistemas agrícolas de manera permanente y oportuna (SINAC, 1997). Posterior a esta estrategia, se han realizado y oficializado tres estrategias más, que establecieron la forma de trabajo en planificación, seguimiento y evaluación de las diversas actividades que se llevan a cabo a nivel nacional en esta materia.

De acuerdo con el registro estadístico que lleva el PNMF del SINAC, de 1998 al 2013, se registró un área promedio por año afectada por incendios forestales de 31 686 ha para un total de 506 998 ha (CONIFOR, 2014). En relación con los incendios ocurridos dentro de área silvestre protegida desde 1998 hasta el 2017, se registró un área promedio afectada de 4 205 ha (SINAC, 2018). La mayor parte de esta afectación ocurre en la región Pacífico Norte, específicamente en la parte de la provincia de Guanacaste, así como en los distritos de Paquera, Lepanto y Cóbano del cantón de Puntarenas. Los incendios forestales en Costa Rica ocurren normalmente entre enero y junio, de los cuales marzo y abril son los meses de mayor recurrencia. Estos últimos corresponden a los meses más secos del año para la vertiente pacífica. También, existe otro foco de incidencia de incendios en la región Pacífico Central y Sur, pero de menor magnitud o recurrencia.

Se puede afirmar que la vertiente pacífica de Costa Rica es la que presenta mayor problemática en relación con la afectación por incendios forestales (CONIFOR, 2014), debido a sus características topográficas, climáticas y a los diferentes tipos de vegetación presentes en esta área (Lobo, 2005). La vertiente pacífica también está propensa a la ocurrencia de incendios forestales debido a factores como una larga estación seca que, en algunas zonas, se extiende desde diciembre hasta mediados de mayo, a otras condiciones climáticas como las altas temperaturas prevalecientes y exposición de los vientos alisios, así como a su posición geográfica y a sus prácticas culturales con el uso del fuego. La afirmación anterior se respalda en conocer que las áreas de conservación ubicadas en la vertiente pacífica, para el período 1998-2012, registraron un 92.79% del total del área afectada (418 831 ha) por incendios forestales (SINAC, 2014). Este dato no varió para la temporada 2017, momento en el que se registró el 92% del total de área afectada a nivel país en la vertiente del Pacífico; y en relación con las áreas silvestres protegidas, sumó el 47% (SINAC, 2018).

Con la disminución de lluvias en otras regiones del país debido al calentamiento global o fenómenos más recurrentes con el caso del fenómeno del Niño, otras regiones están siendo afectadas por incendios forestales, aunque en menor escala en comparación con la región Pacífico. Una de ellas es la región Huetar Norte, específicamente en los cantones de los Chiles y Upala en la provincia de Alajuela (CONIFOR, 2014).

2.5 El fuego: concepto y sus características

El fuego es el producto del proceso físico-químico de la combustión. Se produce cuando coinciden espacial y temporalmente los tres elementos que componen el llamado *triángulo del fuego*: combustible, oxígeno y calor, como se aprecia en la *Figura 2*. Asimismo, la ocurrencia de incendios forestales es un proceso complejo influenciado por varios factores ambientales (Xiao et al., 2015). De esta forma, la ocurrencia de un incendio puede ser por el resultado de factores físicos como la topografía y el clima (Moritz 2003; Taylor et al., 2008; Vasilakos et al., 2009; Anguelova et al., 2010), biológicos, que involucran la estructura y el funcionamiento de la vegetación (Manzo et al., 2009), así como antropogénicos, cuando se realizan quemas en terrenos agropecuarios que se salen de control o actividades de cacería (Grishin, 2003; Comisión Nacional Forestal, 2010). Es necesario conocer las variables ambientales antropogénicas para comprender la ocurrencia de un incendio y determinar, finalmente, el riesgo de que este ocurra (Krivtsov et al., 2009). Por ejemplo, la topografía es un importante factor en el comportamiento del fuego; gracias a ella, se puede reconocer que las llamas se mueven más fácilmente hacia las cimas de las montañas (Jaiswal et al., 2002). También, el aspecto juega un papel muy importante en la expansión de un incendio forestal; por ejemplo, para el caso mediterráneo, las áreas que están de cara al sur son más propensas a los incendios que otros aspectos (Castro & Chuvieco, 1998).

Un método efectivo de incorporar estas variables con el fin de predecir el riesgo de ocurrencia de un incendio forestal es por medio de modelos de cartografía de riesgo de incendios, los cuales han sido comúnmente utilizados en muchos países (Bonazountas, 2005; Sivrikaya, et al., 2014). Los mapas de riesgo de incendios forestales, aparte de ser una herramienta de información para la evaluación potencial del fuego, sirven de utilidad para los administradores de bosques, tomadores de decisiones y bomberos forestales (Sivrikaya, et al., 2014).



Figura 2. Triángulo y Tetraedro del fuego. Fuente: Álvarez (2000).

El triángulo del fuego indica cuáles elementos son necesarios para que se inicie la reacción de combustión. Actualmente, se ha descubierto que para que se mantenga la combustión es necesario un cuarto elemento: la reacción en cadena. Al incluir la reacción en cadena en el esquema del triángulo del fuego, se obtiene el tetraedro del fuego.

Para que el fuego se active, es indispensable la existencia de combustible sobre el que interviene, en presencia de oxígeno, una fuente calórica más o menos intensa que hace que se alcance el punto de ignición y empiece a arder, así como una reacción en cadena para que este se pueda mantener (Álvarez, 2000). Una vez comenzado, el fenómeno se mantendrá por sí mismo mientras no desaparezca, al menos, uno de los tres elementos del triángulo. Por este motivo, la mayoría de las técnicas de extinción están basadas en reducir el calor a temperaturas menores a la de combustión, eliminación o separación del combustible o bien en la reducción o eliminación del oxígeno.

2.6 Propagación del fuego

La propagación del fuego es el mantenimiento en cadena de la reacción de combustión. Es decir, el desplazamiento del proceso de combustión en el espacio, considerando, para ello, distintos tipos de transmisión del proceso, desde la transferencia de calor (la principal) a la dispersión de brasas o partes en combustión. Este proceso se desarrolla de diversas formas como se aprecia en la *Figura 3*.

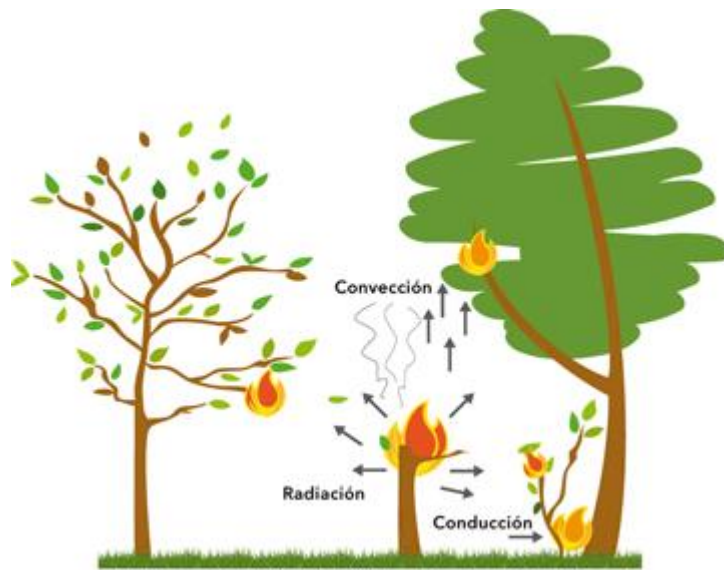


Figura 3. Formas de propagación de un incendio. Fuente: Vega-Araya (2016).

2.6.1 Propagación del fuego por convección

Esta modalidad de propagación se presenta cuando una masa de aire eleva su temperatura, baja su densidad y tiende a ascender, por lo que es desplazada por otra masa fría que experimentará el mismo proceso, lo cual provocará corrientes ascendentes de aire caliente. La vegetación que recibe esas corrientes calientes se deseca, favoreciendo así el desplazamiento del fuego. Este proceso tiene importancia en el avance del fuego ladera arriba en un sistema montañoso y en el movimiento del fuego de superficie a copas (Álvarez, 2000).

2.6.2 Propagación del fuego por radiación

Aun sin necesidad de viento, el calor se transmite a través del espacio en distancias cortas, por lo que impactará solamente a los combustibles más cercanos al foco emisor.

2.6.3 Propagación del fuego por conducción

La transferencia de calor se debe al contacto entre las moléculas de los cuerpos sólidos, y la velocidad de transmisión depende del coeficiente de conductividad térmica de un material específico. Este coeficiente se define como la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de extensión infinita y caras plano-paralelas de un espesor definido cuando se establece entre sus caras una diferencia de temperatura de un grado. Se expresa en kilocalorías/hora \cdot metros \cdot $^{\circ}$ C.

2.6.4 Nuevos focos de incendio

Una vez que interactúan los tres procesos anteriores y se produce una emisión de partículas incandescentes y materiales de mayores dimensiones (brasas) se pueden originar nuevos focos de incendio.

Una vez iniciado un incendio forestal, el comportamiento de este depende de la reacción de las variables combustible, tiempo atmosférico y topografía, según se aprecia en la *Figura 4* (Comisión Nacional Forestal, 2010).



Figura 4. Triada del comportamiento del fuego. Fuente: Comisión Nacional Forestal (s.f.).

2.7 Los incendios forestales y sus consecuencias

Los incendios forestales en la actualidad han activado una alarma social y el estudio de sus múltiples impactos despierta un creciente interés por la sociedad. Sus consecuencias más conocidas, e investigadas son las pérdidas humanas, las de biodiversidad, las económicas y las de nutrientes. Otra consecuencia importante pero difícil de medir es la modificación del paisaje, elemento muy valorado por el conjunto de la sociedad (Carracedo, 2015).

Los incendios forestales ocasionan serios daños e impactos, entre los que se resumen los siguientes:

2.7.1 Afectación al aire

Los incendios forestales representan una de las principales fuentes de emisión de contaminantes en la atmósfera (Bravo et al., 2004). Según un estudio de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), en el 2007, en el mundo se consumen 9 200 millones de toneladas de biomasa, de las cuales 5 130 toneladas corresponden a incendios forestales. Se estima que estos son la segunda fuente principal de producción de PM_{2.5} (material particulado inhalable de diámetro menor o igual a 2.5 µm), lo cual significa un impacto en la calidad del aire, lo cual afecta, inclusive, lugares distantes a la zona incendiada, pues las emisiones pueden desplazarse por distancias largas gracias al viento.

El humo despedido durante un incendio forestal contribuye significativamente al aumento de los gases de efecto invernadero (Andreae, 1991). Se estima que los incendios forestales liberan 3 431 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera (CONIFOR, 2014). En una combustión completa, se produce principalmente dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua, pero también se liberan otros gases que se suman al efecto invernadero y al cambio climático como el óxido de nitrógeno (NO_x), el dióxido de azufre (SO₂) y el monóxido de carbono (CO). Además, las emisiones suelen contener componentes orgánicos volátiles. En los trópicos, la quema de biomasa es común y extendida; se calcula que cerca del 87 % de esta ocurre ahí. El 42% de las emisiones producidas por la quema de biomasa ocurre en África, el 29% en Asia, 23% en Sudamérica y solo el 6% en Oceanía (Andreae & Wilgen, 1997).

2.7.2 Afectación a la biodiversidad

Aparte del aporte de contaminantes a la atmósfera, los incendios forestales representan una de las principales amenazas a la biodiversidad en el planeta, pues son causa de mortalidad segura para reptiles, anfibios y todo tipo de fauna que tenga poca movilidad (Villers & López, 2004). En el caso de los mamíferos, que pueden escapar con mayor facilidad del fuego, es probable que la muerte se presente posteriormente, debido al hambre o a la depredación, puesto que no consiguen refugios e, incluso, por las consecuencias de inhalación de los gases producidos por el incendio (Cochrane, 2003).

Además, los incendios consumen millones de hectáreas de bosques, pastizales o de cualquier tipo de vegetación (Villers & López, 2004), por lo tanto, se convierten en una amenaza

constante en el planeta. Según estimaciones de la FAO, más de 110 millones de hectáreas en el mundo se ven afectadas seriamente por incendios forestales cada año (CONIFOR, 2014).

El efecto de los incendios en la biodiversidad es ambivalente. Mientras que en algunos ecosistemas el impacto del fuego es clave en el mantenimiento de su estructura, dinámica y biodiversidad (Hamilton, 2008), así como en la preparación de terrenos agropecuarios, pues da espacio para que se desarrollen plantas cultivables (Vélez, 2006), también se conoce que, en muchos casos, los incendios forestales perjudican el equilibrio de los ecosistemas. Estos provocan escasez de alimentos y cobijo para la fauna de las zonas arrasadas por el fuego; además, inciden sobre procesos como fotosíntesis, ya que disminuyen el proceso de absorción de dióxido de carbono y de emisión de oxígeno.

2.7.3 Afectación al suelo

El suelo es un conjunto variado de partículas minerales y de materia orgánica. Esta es el resultado de la constante interacción entre el clima, la topografía, la flora y la fauna, así como las características geológicas en largos periodos de tiempo (Jenny, 1941). El fuego puede impactar el suelo y su entorno dependiendo la duración e intensidad del incendio (Neary, 2004). Un ejemplo del impacto de un fuego sobre el suelo es la conformación de una delgada capa impermeable que evita que el agua penetre, lo cual significa una disminución en la conductividad hidráulica del sitio (Certini, 2005).

Durante un incendio forestal, además de las propiedades físicas del suelo, sus propiedades químicas también pueden ser modificadas (Martínez, 2012). Algunas de las propiedades químicas afectadas por el fuego destacan la modificación en los contenidos de carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y el cambio de pH (Knoepp et al., 2005). Además de los cambios físicos y químicos en el suelo, producto de un incendio moderado, también existen cambios en las propiedades biológicas y mineralógicas que pueden ser afectadas por incendios forestales (Certini, 2005).

2.7.4 Riesgos para la salud

Los daños ocasionados por un incendio forestal son difíciles de cuantificar. Si bien, es posible determinar cuántas hectáreas de terreno forestal fueron afectadas, y quizás las pérdidas económicas que dicha afectación implica, no es posible medir el daño inmediato y futuro a la salud de todo ser vivo.

La información existente en relación al tema de emisiones tóxicas producidas durante un incendio forestal es escasa (Smith et al., 2004). El dióxido de carbono, el monóxido de carbono, el metano y el carbono orgánico figuran entre los gases generados por un incendio forestal (Andreae, 1991). Estos gases, además de ser tóxicos, contribuyen al efecto invernadero. Entre las consecuencias inmediatas a la salud ocasionadas por estos gases, están el incremento de problemas respiratorios preexistentes (como el asma), reducción respiratoria, dolor torácico, irritación en la vista, cansancio, dolor de cabeza, mareos y estrés, todo relacionado con la exposición al PM2.5 (California Environmental Protection Agency, 2009).

2.7.5 Afectación económica y social

A nivel económico, se destaca que los incendios forestales consumen millones de hectáreas de valiosas maderas cada año; la degradación de los bosques y el costo de enfrentar los incendios asciende a varios miles de millones de dólares (Hamilton, 2008).

A nivel social, se está transformando la visión sobre los incendios forestales como una práctica cultural inherente a las poblaciones rurales para considerarlos, más bien, como una amenaza a la sociedad, ya que la consolidación del paradigma del desarrollo sostenible y el interés por todo lo que concierne a la preservación del medio ambiente ha llevado a que los incendios forestales se presenten como un fenómeno negativo con consecuencias muy serias sobre la naturaleza, desde la escala global a la local. Esta preocupación y debate, vistos desde las políticas forestales, han pasado a ser un tópico transversal en los ámbitos agrario, ambiental y de protección civil.

2.8 Interés científico en la predicción de incendios forestales

En las décadas recientes, anomalías climáticas como las sequías y el déficit de lluvias inducidas por fenómenos como El Niño han sido más frecuentes. En años de El Niño, se da un incremento de ocurrencia de incendios forestales, especialmente en los trópicos (Leighton y Wirawan, 1986; Cochrane et al., 1999). Debido a los fenómenos tan cambiantes, predecir las ocurrencias de incendios forestales y comprender sus factores asociados es un reto para la ciencia y un proceso clave para diseñar estrategias de prevención y manejo del fuego (Gollberg et al., 2001; Tian et al., 2013). Asimismo, el análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales puede proveer información nueva y guiar los esfuerzos en el planeamiento y reducción del riesgo por incendios (Yang et al., 2007).

En los últimos años, las nuevas tecnologías han incentivado en la comunidad científica el desarrollo de investigaciones en incendios forestales a todas las escalas. También, las instituciones u organismos que gestionan incendios forestales están tratando de hacer frente a estos fenómenos mediante técnicas de teledetección y análisis por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el objetivo de apoyar el proceso de toma de decisiones. Por ejemplo, Moraga (2010), citado por Vargas (2016), realizó una evaluación multicriterio del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del río Tempisque, tomando como punto de partida variables tales como puntos de ignición de incendios, cercanía a carreteras, tipos de suelos, usos de la tierra, altitud e insolación.

Los Sensores Remotos son herramientas útiles para construir capas temáticas de variables relacionadas con la susceptibilidad de incendios forestales en diferentes resoluciones espaciales y temporales; mientras que los SIG permiten la interpolación, la especialización y la integración de la información generada con Sensores Remotos con otros atributos físicos y antrópicos derivados para su uso como variables predictoras (Amatulli et al., 2006). El uso de los sensores remotos para determinar el riesgo ha sido utilizado por autores como Paltridge & Barber, (1988), López et al., (1991), así como Illera et al., (1996). Por ejemplo, la información obtenida de satélites como NOAA, AVHRR, LANDSAT y MODIS utilizada en combinación con mapas temáticos de topografía y vegetación, junto con datos de estaciones meteorológicas como temperatura, precipitación y velocidad del viento, pueden ser usados como variables predictivas de riesgo de incendios forestales (López et al., 1991; Illera et al., 1996; González et al., 1997; Maselli et al., 2003).

Una aplicación muy utilizada en la predicción de incendios forestales es el índice conocido en inglés como *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*, derivado de imágenes de satélite, la cual es otra variable predictiva, ya que es un buen indicador del verdor de la vegetación, del estrés por falta de agua y otros parámetros de la vegetación (Zhou et al., 2003). En los últimos años, el índice NDVI ha sido usado en diversas regiones para analizar el riesgo de incendio (Cheret & Denux, 2011; De Angelis et al., 2012; Wang et al., 2013).

Otro ejemplo de la aplicación de Sensores Remotos es el Sistema Global de Gestión de Información sobre Fuegos (GFIMS). Esta herramienta es muy útil en países o territorios con grandes extensiones de superficie terrestre y en donde la identificación de incendios forestales a través de satélites permite la detección de puntos calientes en plazos de tan solo 2.5 horas tras la primera observación (GFIMS, 2010). Sin embargo, en países muy pequeños como Costa

Rica, en donde los incendios en la mayoría de las veces no llegan al área mínima para ser detectados por un satélite, es necesaria la aplicación de otra tecnología y técnicas para poder no solo detectarlos en forma temprana sino prevenir la ocurrencia de incendios forestales.

2.9 Sistemas de cartografía de riesgo en incendios forestales

Un término para considerar y que será clave para entender el sistema de cartografía de riesgo en incendios forestales, es el concepto de riesgo de incendio. El riesgo de incendio es la probabilidad de que un evento adverso ocurra en un área en particular, bajo la influencia de agentes físicos y humanos causales (San Miguel Ayanz et al., 2003). De acuerdo con el dominio espacial, es posible distinguir entre el riesgo local y el global, mientras que los riesgos de incendio a corto y largo plazo se definen sobre la base de la resolución temporal (Chuvieco et al., 1999). Riesgo de incendio a corto plazo es estrictamente dependiente de las condiciones climáticas que afecta directamente el estado de humedad en la vegetación (Chuvieco & Martin, 1994). Sin embargo, el riesgo de incendios a largo plazo se refiere a los factores permanentes asociados a la ignición o a la propagación del fuego, tales como la topografía, la estructura de la vegetación, las actividades humanas o los patrones climáticos (San Miguel Ayanz et al., 2003). Sobre la base de estas definiciones, a los efectos de este trabajo, el riesgo de incendio está pensado como la predicción de ocurrencia de un fuego calculada a partir de la interacción de las variables explicativas en contra de la ocurrencia de incendios observados.

El riesgo de incendios forestales está especialmente presente en gran parte del ACG por las condiciones descritas en los apartados anteriores. El nivel de riesgo depende de una multitud de factores como se aprecia en la *Figura 5*, cuya mayoría son de origen diverso, tanto espacial como temporal, que se explicarán más adelante.

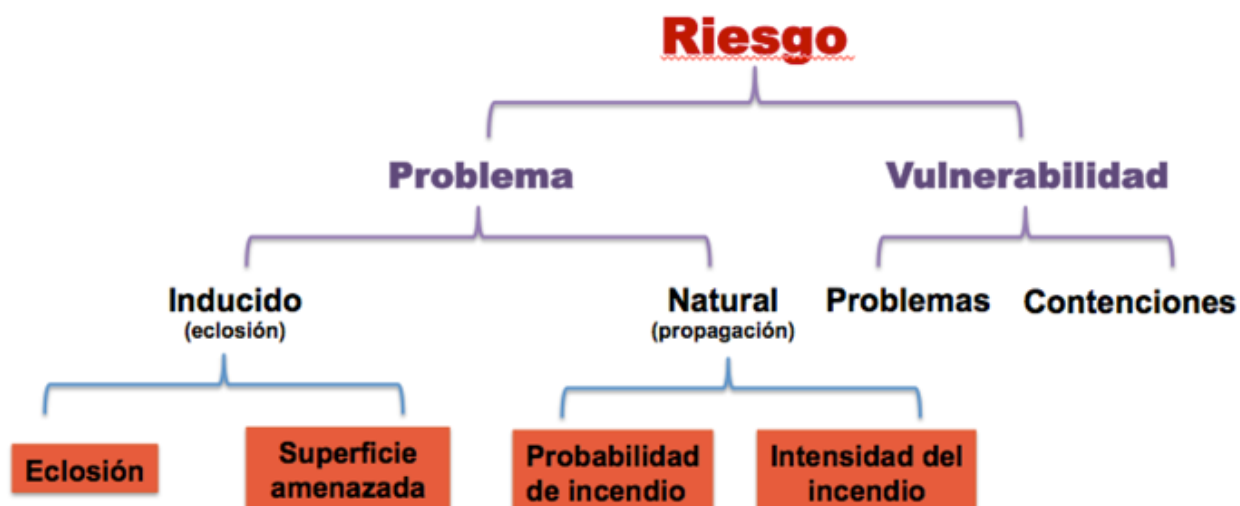


Figura 5. Factores que intervienen en el riesgo de incendios forestales. Fuente: Vega-Araya (2016).

Uno de los mayores retos que afronta el PMF del ACG es la detección temprana de incendios forestales. Actualmente, las técnicas utilizadas son vigilancia por medio de vehículos y puestos de vigilancia en sitios estratégicos como torres y casetas en cerros, desde donde hay visibilidad bajo condiciones atmosféricas favorables. Este despliegue tiene un costo económico muy alto durante toda la temporada de posible incidencia de incendios forestales, ya que implica la movilización de vehículos, personal e ingeniería de campo.

Con el objetivo de reducir los daños causados por los incendios forestales, dirigir las acciones de combate y contar con una mejor eficiencia en el uso de los recursos humanos y materiales, es imprescindible contar con estrategias de prevención y de control de incendios. El éxito en el diseño y en la ejecución de planes específicos en el manejo integral del fuego que incorporen dichas estrategias depende, en gran medida, del conocimiento de un IPIF, capaz de mostrar la posibilidad de que un incendio ocurra considerando variables meteorológicas, combustibles forestales, accidentes topográficos y la influencia de las actividades humanas en el entorno.

Por esta razón, a nivel mundial se han desarrollado modelos y sistemas para identificar áreas geográficas con riesgo de incendios forestales. De esta forma, si se lograra predecir la posible ocurrencia de estos, se minimizarían los altos costos que implica la atención de un incendio, así como la pérdida de recursos naturales. Entre estos modelos, destaca el Canadian Forest Fire Danger Index (Lee et al., 2002; Stocks et al., 1989). Aunque este se diseñó originalmente para un tipo estandarizado de bosque, ha sido utilizado para la estimación del peligro de incendio en

muchos países (Viegas et al., 1999; Carvalho et al., 2008). También, existe el sistema Forest Fire Danger Index desarrollado en Australia (CSIRO Forestry and Forest Products 2000); el National Fire Danger Rating System, desarrollado por el Servicio Forestal de Estados Unidos de América (Deeming et al., 1978) y el McArthur Forest Fire Danger Index (FDI) (Mc Arthur, 1967). Por ejemplo, en la región de Galicia, España se ha implementado un sistema inteligente para el manejo y control de acciones en la lucha contra incendios forestales utilizando principalmente datos geográficos y meteorológicos (Alonso et al., 2003).

Este modelo de predicción está basado en redes neurales alimentadas principalmente con datos meteorológicos en donde el resultado final es generar cuatro categorías de riesgo de incendios. De esta forma, el modelo predice el riesgo de incendios para un sitio específico y actúa como una herramienta preventiva, permitiéndole a las unidades de combate de incendios forestales enfocarse en las áreas con mayor riesgo de ocurrencia de un incendio. La investigación desarrollada por Alonso et al., (2003) para mejorar la red, indica que se necesita incluir variables socioeconómicas, así como variables en el terreno, por ejemplo, tipos de caminos y tipos de vegetación.

Otra de las herramientas desarrolladas para la detección y prevención de incendios forestales son los modelos de cartografía de riesgo de incendios forestales. Por ejemplo, en países como Estados Unidos y Canadá son utilizados estos modelos para, en primera instancia, zonificar e identificar áreas susceptibles a incendiarse y, posteriormente, dicha cartografía es utilizada como base en toma de decisiones con carácter preventivo (Martínez, 2012).

Otro modelo utilizado por el Instituto Meteorológico de Portugal utiliza el Índice Combinado de Riesgo de Incendio Forestal (ICRIF), el cual es un índice dinámico que combina información meteorológica, estado de la vegetación e información estructural. Con este modelo se pretende no solo obtener la probabilidad de ignición de un incendio forestal, sino también la capacidad de expansión del fuego (Bugalho & Pessanha, 2007).

En Costa Rica, el único modelo implementado con el objetivo de predecir el riesgo de ignición de un incendio forestal está dentro del proyecto auspiciado por el plan de cooperación triangular entre Costa Rica, Marruecos y Alemania. El punto focal en esta cooperación fue Fundecooperación en alianza con el MINAE y el Reino de Marruecos. El punto focal fue el Alto Comisionado de Agua, Bosques y Lucha contra la Desertificación (HCEFLCD) y la República

Federal de Alemania a través de su Ministerio Federal de Cooperación Económica para el Desarrollo (BMZ) con el apoyo de la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ).

J. Díaz (comunicación personal, 22 de mayo 2019) comenta que, bajo esta alianza, Marruecos ha adaptado modelos españoles y franceses para crear su propio modelo de sistemas de cartografía de riesgos; los resultados han sido tan satisfactorios en la predicción de incendios forestales que se ha reducido el área afectada de 14 ha por incendio a 2,34 ha, tras cuatro años de implementar el modelo. A partir de esa alianza, se desarrolló una cartografía de riesgo en su fase piloto para el ACG, ya que es la única área de conservación que cuenta con una base de datos robusta de todos los incendios forestales ocurridos entre 1997 y la actualidad.

Para crear el modelo se utilizó la información base de las áreas donde se presentaron los incendios forestales en un histórico no menor a diez años, así como el punto de inicio de cada uno: área, tipo de vegetación afectada, tipo de incendio presentado y hora de inicio. Aparte de la conformación de datos históricos de ocurrencia de incendios, se levantaron mapas bases a partir de la creación de un mapa de vegetación asociada, así como el tipo de combustible disponible. Adicionalmente, con las estaciones meteorológicas disponibles en la zona de estudio, se utilizaron los datos históricos provistos por el IMN, de los cuales se generaron dos pronósticos al día (4:00 a.m. y 11:00 a.m.), por medio de la interpolación de datos como temperatura, humedad, presión atmosférica, precipitación y viento (intensidad y dirección) para 539 puntos del ACG.

De esta forma, se generó un mapa compuesto por una capa estática y otra dinámica de riesgo de ignición y riesgo de propagación creados por medio de herramientas como Web Viewer, Post GIS y GRASS GIS. A continuación, se describe la estructura de conformación del modelo de riesgo estático y del modelo o capa de riesgo dinámico que conforman el sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG.

El modelo de riesgo estático está compuesto de dos grandes variables observadas en la *Figura 6*. El riesgo se compone de las variables peligro y vulnerabilidad.

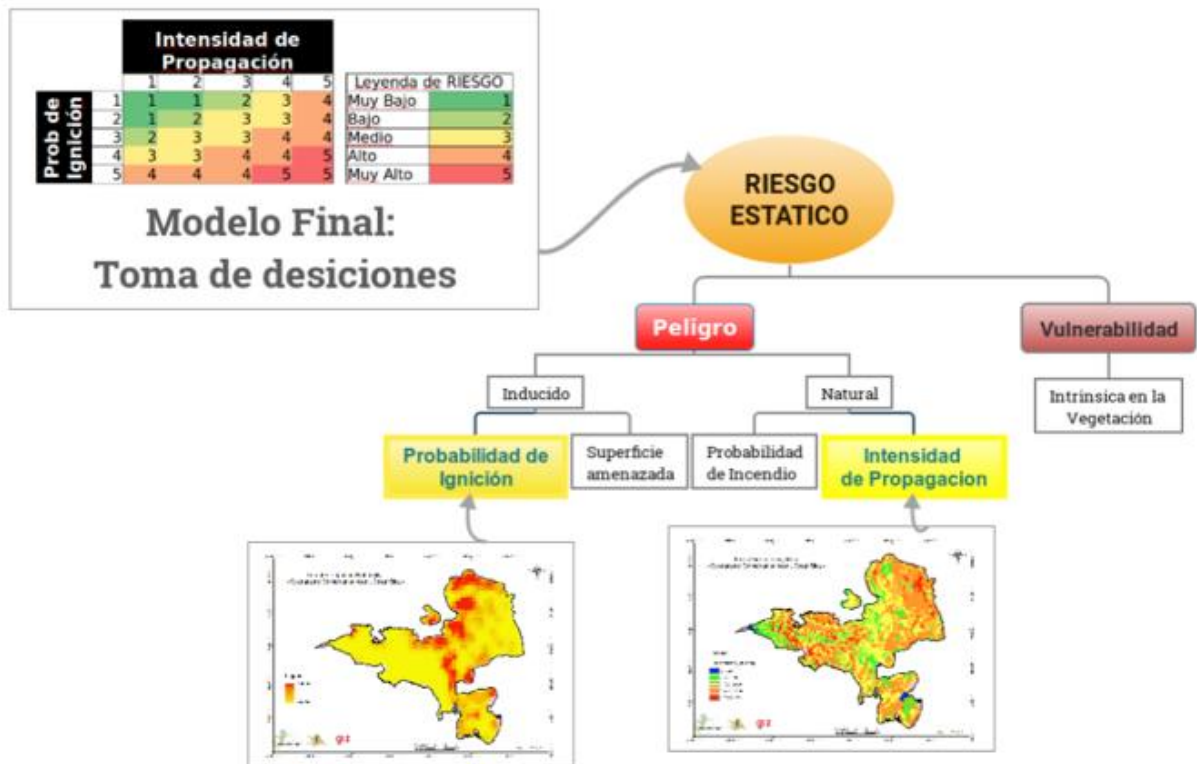


Figura 6. Esquema del riesgo estático para un incendio forestal. Fuente: Vega-Araya (2016).

La vulnerabilidad se define como el posible impacto del fuego sobre los valores sociales y ecológicos (Chuvieco et al., 2012). En el aspecto ecológico, la vulnerabilidad durante la época seca es intrínseca a la biomasa, especialmente, hojarasca, necromasa y árboles muertos o troncos expuestos.

En el análisis del riesgo estático, la investigación se concentra principalmente en la variable de peligro de incendio, subdividida en peligro inducido y peligro natural. Dentro del peligro inducido se tienen las variables de probabilidad de ignición y de superficie amenazada. Para determinar la probabilidad de ignición de un incendio, hay que tomar en cuenta aspectos naturales como la pendiente, la velocidad y la dirección del viento, así como factores antropogénicos relacionados a elementos de presión humana como punto de inicio del incendio, distancia de los incendios a vías de comunicación y construcciones. La *Figura 7* detalla la conformación dentro del modelo del peligro inducido.

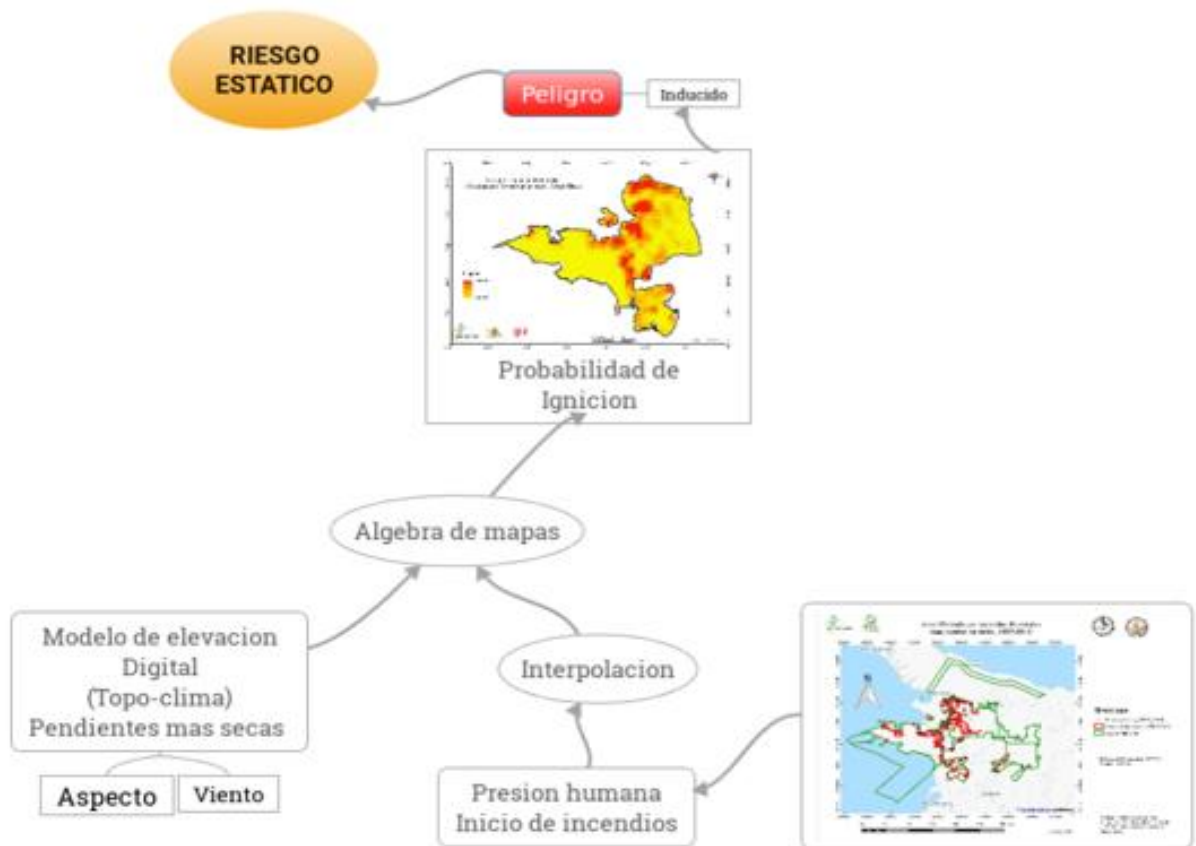


Figura 7. Esquema de conformación del peligro inducido en incendios forestales. Fuente: Vega-Araya (2016).

El problema de riesgo inducido es aquel generado por las actividades del ser humano. Como se aprecia en la *Figura 8*, integra las variables de presión de ignición, mapa de topoclima y mapa de eclosión.



Figura 8. Riesgo inducido. Fuente: Vega-Araya (2016).

La presión de ignición se obtiene al dividir el número total de incendios del área cubierta por el Número x de superficie total de vegetación del área cubierta como se observa en la fórmula de la *Figura 9*.

$$\text{Presión de Ignición} = \frac{\text{Número total de incendios por localidad}}{\text{Nº x superficie total de vegetación de la localidad en ha}}$$

Figura 9. Presión de ignición de un territorio. Fuente: Vega-Araya (2016).

El mapa de topoclima se obtiene de la combinación del mapa de clima con el mapa de exposición; además, se toma en cuenta el aspecto de la pendiente para su elaboración. Para determinar el mapa del riesgo de eclosión, el modelo de combustible integra las especies presentes, los tipos de combustible, su altura respectiva, su recuperación, la necromasa, así como la inflamabilidad del lecho (*Figura 10*).



Figura 10. Riesgo de eclosión. Fuente: Vega-Araya (2016).

Un segundo factor para el mapa de eclosión es la superficie amenazada que se obtiene al responder cuál es el área máxima que puede recorrer un incendio sin intervención o control.

Riesgo Natural

Existen dos variables en el riesgo natural: probabilidad de incendio e intensidad del incendio.

Para obtener el riesgo de probabilidad de incendio se aplica la fórmula mostrada en la *Figura 11*.

Problema natural / Probabilidad de incendio (Riesgo promedio anual)

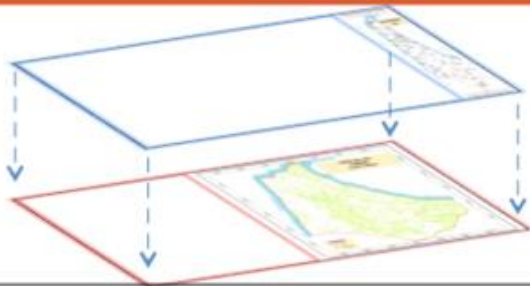

$$PI = 100 \times \frac{\text{Superficie total de la localidad quemada en } N \text{ años (ha)}}{N \times \text{Superficie total boscosa de la localidad (ha)}}$$

Figura 11. Probabilidad de Incendio. Fuente: Vega-Araya (2016).

En este caso, la probabilidad natural de que ocurra un incendio se determina utilizando la fórmula donde se divide la superficie total de la localidad quemada en un número determinado de años, entre el número de años multiplicado por la cobertura total boscosa de la localidad expresada en hectáreas.

El otro factor natural de peligro de riesgo se conoce como la intensidad de propagación que se calcula con la fórmula de Byran mostrada a continuación:

$$I (Kw/m) = C(J/g) * B(kg/m^2) * V (m/s)$$

En esta fórmula, I corresponde a la intensidad de propagación del incendio y representa el poder de la energía generada por la combustión. C representa la constante del poder calórico

expresado en J/g, la cual es de 18 000 J, que corresponde al promedio del valor del calentamiento de la madera y vegetación. B representa la biomasa expresada en kg/m². Finalmente, V representa la velocidad de propagación expresada en m/s (Vega-Araya et al., 2017).

En el modelo de cartografía de riesgo del ACG, el componente de biomasa combustible se determinó mediante la generación de un mapa de combustibles como el que se aprecia en la *Figura 12* para el área de estudio. Este mapa muestra los diferentes tipos de combustible y está relacionado a tablas de atributos donde se especifica la cantidad disponible de combustible por cada tipo de cobertura.

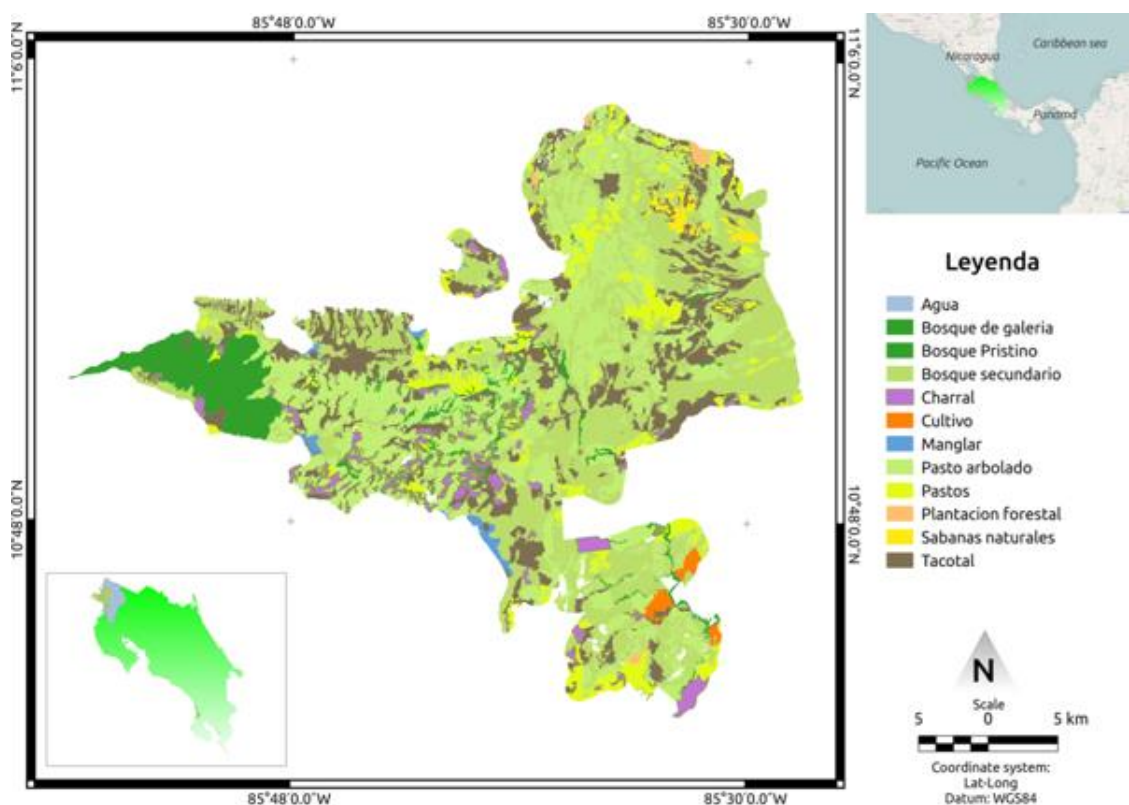


Figura 12. Modelos de combustible para el área de estudio. Fuente: Vega et al. (2015)

Conocer los factores naturales como antropogénicos es necesario para comprender la ocurrencia de un incendio y para determinar finalmente el riesgo de que este ocurra. Una de las limitaciones del modelo actual es que para el factor antropogénico, solo se consideró el punto de inicio de cada incendio ocurrido entre 1997 y el 2015. Para fortalecer el modelo en el factor

antropogénico, se tomarán en cuenta las variables de distancia de punto de inicio de cada incendio a vías de comunicación y de distancia a centros poblados, con el fin de determinar el peso o presión que ejerce el factor antropogénico en la ignición de un incendio. Por ejemplo, autores como Jaiswal et al., (2002) indican que los bosques localizados cerca de caminos tienen una mayor tendencia a ser afectados por el fuego; la distancia a las poblaciones y a tierras cultivadas es un factor fundamental para predecir la posibilidad de un incendio forestal.

El modelo aplicado en el ACG se conforma a partir de la información sistematizada previamente en el software con los datos del histórico de incendios y junto con los datos meteorológicos diarios que se actualizan dos veces por día. Esto genera una capa dinámica que muestra las áreas donde podrían ocurrir incendios forestales.

Los mapas dinámicos están formulados para detectar la flamabilidad de los combustibles forestales durante la temporada de incendios y están enfocados en la probabilidad de ignición y propagación de los incendios forestales (Salinero & Chuvieco, 2003). Por ejemplo, la flamabilidad de la vegetación está influenciada por la cantidad de combustible vivo y muerto, su contenido de humedad y su tipo de vegetación (Albini,1976); (Rothermel et al.,1986). Esto porque el contenido de humedad en la vegetación está relacionado a las condiciones meteorológicas por cada tipo de combustible. El modelo dinámico tiene que ser calculado diariamente al actualizar el mapa de combustible, así como las variables meteorológicas tales como temperatura, humedad relativa, precipitación, junto con una aproximación de la cantidad de combustibles vivos y muertos (Carrao et al., 2003).

En el caso del mapa dinámico para el ACG, al final, el producto señala el riesgo de ignición y de propagación en una cuadrícula de 100 x 100 m por medio de una escala de color en donde los funcionarios del SINAC autorizados para ingresar al sistema podrán revisar dónde existen altas probabilidades de incendio, hacia dónde se propagaría este y la cantidad de área que se vería afectada. J. Díaz (comunicación personal, 22 de mayo 2019) comenta que el mapa permite calcular distancias y tiempo de traslado desde los centros operativos, así como ver los caminos que están habilitados y la localización de las rondas cortafuegos.

Capítulo III. Marco metodológico

A continuación, se describe la metodología utilizada en el proyecto de investigación. La complejidad de factores que inciden e intervienen en el inicio de un incendio forestal demandó la adopción de una metodología integrada, basada en el análisis de los diferentes elementos internos y externos que intervienen en el sistema de cartografía de riesgo del ACG. Por lo tanto, se utilizó el método de triangulación como base para la generación de datos e información relevante que permitió mostrar la interconexión entre las distintas variables. Las diferentes variables se analizaron y se procesaron en función del origen de los datos, para los cuales fue necesario contar con una guía previa de cómo se estructuraron estos a través de una serie de procedimientos que se desglosan en los siguientes apartados.

El proceso abarcó la observación directa en el análisis de la plataforma de cartografía de riesgos de incendio forestal del ACG. La información también fue obtenida una vez aplicadas las entrevistas semiestructuradas a profundidad, a los profesionales involucrados en el manejo del fuego en el SINAC, a través de cuestionarios estructurados y auto administrados tanto para los integrantes del Comité Técnico del ACG, así como para los funcionarios del programa de manejo del fuego del ACG. También, se tomó en cuenta la investigación documental existente sobre el tema.

El análisis de los datos obtenidos a partir de los instrumentos aplicados a los funcionarios del Área de Conservación Guanacaste se realizó considerando la perspectiva estructurada, la cual es de carácter descriptivo e interpretativo (Schettini y Cortazzo, 2015) que, a su vez, proviene de la Teoría Fundamentada de Glaser y Strauss (1967). Asimismo, se analizó, de manera cualitativa, la plataforma disponible en línea que muestra la cartografía de riesgos de incendio forestal del ACG utilizada como plan piloto en el SINAC para el monitoreo y la predicción de las áreas con mayor peligro de incendios en el ACG. También se realizaron consultas en la base de datos que contiene información de las áreas quemadas desde 1997 y hasta el 2017 con el fin de comparar el grado de predicción del modelo a partir de un análisis retrospectivo en el período de estudio.

3.1. Paradigma

La Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales es un programa que pertenece a las llamadas Ciencias Naturales, por tanto, se desarrolla dentro de un paradigma intelectual-social-

crítico en el que se motiva a la construcción continua de conocimiento nuevo mediante la realización de una investigación científica que genere propuestas capaces de provocar una transformación social en cuanto al manejo de los recursos naturales.

3.2. Enfoque

Por la dinámica de la investigación, el enfoque utilizado fue el mixto. Este se trata de una mezcla entre el enfoque cualitativo y el cuantitativo, con el objetivo de dar respuesta a los objetivos planteados. Los estudios mixtos cuentan con la ventaja de mostrar una perspectiva más amplia y profunda del tema a estudiar, pues generan un panorama y una percepción más integral y holístico de los fenómenos. A la vez, se obtienen datos más ricos y diversos por medio de las múltiples observaciones que se generan, ya que se exploran variadas fuentes, tipos de datos, así como contextos o ambientes, lo que facilita una mejor comprensión y exploración de la información. Esto permite interpretaciones y significados más sólidos para optimizar significados, consolidar interpretaciones y brindar mayor utilidad a los descubrimientos (Hernández, Fernández & Baptista, 2010). El enfoque cualitativo se utilizó en las primeras etapas de la investigación; esta correspondió a una evaluación del funcionamiento y utilidad del modelo de cartografía de riesgos de incendios forestales del ACG por parte del personal del ACG y de otros posibles usuarios de este, puesto que fue un estudio exploratorio enfocado en percepciones, uso, y manejo de una herramienta a disposición de los funcionarios en sus actividades de prevención y vigilancia de los incendios forestales.

El enfoque cuantitativo pretende llegar al conocimiento desde afuera por medio de la medición y el cálculo de una variable determinada (Barrantes, 2003). En este caso, el enfoque cuantitativo se utilizó al analizar la capacidad del modelo para detectar incendios forestales al comparar sus cinco niveles de predicción (muy alta, alta, media, moderada y baja) con los incendios ocurridos entre el 2016 y 2017, época desde la que el modelo ha estado en funcionamiento.

3.3. Tipo de investigación

La investigación se realizó utilizando el método no experimental. De esta forma, en el marco de la estrategia de acciones realizadas y una vez definido el enfoque de la investigación, el cual se determinó que era mixto, se planteó una triangulación por diseños mixtos concurrentes en el tiempo. El método se utilizó para analizar el uso del modelo de cartografía de riesgo de

incendios por el personal del ACG y para determinar una posible propuesta de modificación a este. Además, se utilizó un método inductivo para aproximarse y comprender las experiencias de los participantes por medio de una serie de técnicas e instrumentos como entrevistas, encuestas y talleres, con los que se evaluó el uso que se le da al modelo.

También, se utilizó un método deductivo con un diseño no experimental transversal en el que se analizó la ocurrencia de incendios forestales entre el año 2016 y el 2017 en relación a la variable de riesgo de ignición para el día que ocurrió dicho fenómeno. Para este diseño, fue indispensable contar con la base de datos y capas en formato shapefile (shp) de todos los incendios ocurridos entre el 2016 al 2017, así como la información histórica y capas asociadas también en formato shapefile sobre el riesgo de ignición para la fecha exacta del incendio. Para determinar la existencia de variables de presión humana que interfieren en el inicio de los incendios forestales, se utilizó el criterio experto de cuatro funcionarios del PMF del ACG, así como el análisis espacial por medio del programa de SIG ArcGIS 10.6, donde se determinaron las distancias de centros de población, caminos, senderos y lugares con visitación turística y otras posibles variables en relación con el punto de inicio o focos de incendios incluidos en las bases de datos históricas desde 1997 hasta el 2018.

3.4. Participantes / población y muestra

Para efectos de esta investigación, fue indispensable identificar las instituciones, grupos organizados o personas que podrían ser relevantes en función del desarrollo del proyecto. En el ACG, se aplicaron encuestas a 20 funcionarios y se entrevistó a un funcionario del IMN y a otro del PNMF del SINAC. También, fue clave identificar el tipo de relaciones y el nivel de compromiso y participación de cada uno de los actores en relación al campo de los incendios forestales. De esta forma, fue indispensable, aparte de identificar los actores, establecer el rol que ejercían y la relación y jerarquización de su poder con respecto al proyecto de investigación.

Cuadro 1. Actores relacionados a la investigación.

Tipo de organización o actor	Actor social	Papel o rol del actor	Relación predominante	Jerarquización de su poder
Gubernamental	MINAE	Rector del ambiente	A Favor	Alto
Gubernamental	SINAC	Administradora de las ASP	A Favor	Alto
Gubernamental	Área de Conservación Guanacaste	Gestora de las ASP regionales	A Favor	Alto
Gubernamental	Instituto Meteorológico Nacional	Administrador de los datos meteorológicos	Indiferente	Medio
Comisión	CONIFOR	Planeación, formulación, gestión, apoyo, ejecución, evaluación y seguimiento de las acciones estratégicas interinstitucionales relacionadas con el Manejo del Fuego en el país (Decreto Ejecutivo N° 26399-MINAE, 1997)	A Favor	Alto
Instituto de Investigación y Servicios Forestales	INSEFOR	Desarrollador	A Favor	Medio
Sociedad Civil	Comunidades de La Cruz, Cuajiniquil, Paso Bolaños y Quebrada Grande	Vecinos del ACG y colindantes con área de estudio. Interesados y tomadores de decisiones	Indiferente	Medio
Gubernamental	Bomberos Forestales	Entrevistados	A Favor	Alto
ONG	Guanacaste Dry Forest Conservation Fund	Tomador de decisiones	A Favor	Medio

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.4.1 Área de Conservación Guanacaste

El ACG es uno de los actores más importantes en la investigación, ya que es el centro o plataforma donde se aplica el modelo de cartografía de incendios forestales. Este actor por varias décadas ha llevado a cabo el único y más extenso proyecto de restauración de un ecosistema completo de bosque seco en el trópico. Uno de los objetivos en su accionar es evitar, minimizar y/o mitigar los impactos generados por la sociedad y que se interpongan, sean riesgosos o vayan en detrimento de los objetivos de restauración y conservación a perpetuidad de los ecosistemas y rasgos culturales del ACG.

3.4.2 Instituto Meteorológico Nacional

El Instituto Meteorológico Nacional (IMN) es la institución científica adscrita al MINAE, encargada de la coordinación y gestión de la amplia gama de actividades meteorológicas y climatológicas del país. Entre sus principales funciones con relación a la temática de la investigación es vigilar de forma sistemática el estado del tiempo para la prevención de los desastres hidrometeorológicos, tales como los incendios forestales y sus efectos. También, recopila y analiza, por medio de modelos, la información meteorológica y climatológica que mide y recopila la red de estaciones del Instituto a lo largo del país. Otras funciones son el envío de pronósticos diarios, semanales, trimestrales, así como la exposición de estos en las reuniones de la CONIFOR cuando se requiera (Vargas, 2016).

3.4.3 Comisión Nacional sobre Incendios Forestales

A partir de 1997, se formó la Comisión Nacional sobre Incendios Forestales (CONIFOR, 2012). El papel de la CONIFOR es ser el ente responsable y coordinador de las acciones de manejo del fuego a nivel nacional. Le fue asignada la planificación, elaboración, gestión, ejecución, evaluación y seguimiento de las políticas y acciones estratégicas interinstitucionales vinculadas con el Manejo del Fuego en Costa Rica (Decreto Ejecutivo N° 26399-MINAE, 1997).

3.4.4 Sociedad Civil

La sociedad civil la conforman todos los grupos organizados o no organizados que están dentro o en los alrededores del área del proyecto y que, de una u otra forma, pueden verse afectados o involucrados en la temática de incendios forestales. Para efectos de la investigación, se toma como parte de la sociedad civil a las comunidades colindantes con el ACG. Estas son la ciudad

de La Cruz, los pueblos de Cuajiniquil del cantón de La Cruz y Quebrada Grande, cantón de Liberia y otras comunidades más pequeñas como los asentamientos de Paso Bolaños y Juan Santamaría, localizados en el cantón de La Cruz.

3.5 Fuentes de información

En la investigación se utilizaron principalmente dos tipos de fuentes de información. En primer lugar, fuentes primarias, divididas en fuentes bibliográficas donde el principal recurso proviene de revistas de contenido científico en ciencias naturales, en las cuales el tema de incendios forestales y modelos de cartografía de incendios está presente. También, se utilizaron técnicas indirectas o no interactivas como documentos oficiales de instituciones públicas tales como la Política Nacional de Incendios Forestales 2012- 2022, el Plan General de Manejo del ACG y los informes estadísticos o anuarios. Otro tipo de fuentes primarias utilizadas fueron las no documentales que corresponden a técnicas directas o interactivas de investigación de campo, entre las que están la observación participante y las encuestas, que comprendieron el uso de entrevistas y cuestionarios aplicados a funcionarios del PMF, personal y autoridades del ACG, así como a meteorólogos del IMN.

En segundo lugar, se utilizaron fuentes secundarias; entre ellas, la base de datos de los incendios forestales ocurridos entre 1997 al 2018 que levantó el PMF del ACG, las capas de información meteorológica y geográfica, así como mapas generados por el modelo de cartografía de incendios forestales del ACG. Entre estos están los mapas de probabilidad de ignición, probabilidad de propagación, mapa de combustibles, mapa de pendiente y aspecto, entre otros.

3.6 Técnicas e instrumentos para la recolección de información

Para registrar la información en el apartado cuantitativo para el procesamiento y análisis de la información cartográfica disponible o levantada, se utilizó el software ArcGIS 10.6. También el uso del clinómetro fue fundamental para la medición de las pendientes durante las giras de campo, así como el GPS.

En el caso del apartado cualitativo, se utilizaron guías de observación de campo e instrumentos como encuestas y cuestionarios. El primer instrumento tipo encuesta fue aplicado a doce

funcionarios que forman parte del Comité Técnico del ACG (Anexo 3), mientras que el segundo cuestionario se aplicó a ocho funcionarios del PMF del ACG (Anexo 2). Ambos instrumentos tenían la finalidad de conocer la opinión y percepción de los funcionarios del ACG con respecto al uso y utilidad del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG, así como de realizar una evaluación del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales y plantear una propuesta con miras a mejorar la efectividad del modelo en la predicción de ocurrencia de incendios forestales.

3.7 Validación de instrumentos

Para la validación de los instrumentos se realizó una prueba piloto de aplicación de las encuestas a cuatro funcionarios del ACG con el objetivo de filtrar y descartar las preguntas mal elaboradas o de difícil interpretación. Asimismo, se aplicó una prueba piloto en varios tipos de paisaje del ACG, donde se practicó el cálculo del ángulo y el porcentaje de pendiente por medio de un clinómetro marca Suunto, así como el cálculo de la velocidad del viento con una veleta. El objetivo fue validar los instrumentos; posteriormente, se buscó el criterio experto de los profesionales y técnicos del ACG y del IMN para determinar los pesos correspondientes a las variables de aspecto, pendiente, dirección y velocidad del viento por medio de una matriz. Una vez en el campo, en un sitio conocido por la probabilidad de ignición de un incendio se realizaron 20 mediciones en el perímetro quemado con el objetivo de obtener la pendiente promedio del área afectada por el siniestro.

También, se utilizó un GPS Montana 600 para el levantamiento de información de campo para validar y actualizar los datos existentes: caminos, líneas de tendido eléctrico y poblaciones más cercanas. El programa ArcGIS 10.6 permitió, a partir de las capas de curvas de nivel, generar un primer modelo piloto digital de elevaciones, base para continuar con el análisis espacial de las variables descritas en la escogencia de los instrumentos.

Una vez construido el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), se utilizó la herramienta denominada "Aspecto" que se encuentra en la extensión Análisis Espacial del software ArcGIS 10.6: ArcToolbox < Spatial Analyst < Surface < Aspect.

Una vez aplicada la herramienta llamada "Aspecto" se obtuvo 8 posibles orientaciones (N, NE, E, SE, S, SO, O y SO) además de las zonas planas (que toman el valor de -1). Así, por ejemplo, una celda que toma valores entre 22,5 y 67,5 tiene una orientación NE y aparece coloreada en

un color diferente. Si se requiere saber cuáles son las zonas orientadas al oeste y representarlas sobre el MDT es necesario utilizar la calculadora ráster.

Según la simbología del ráster de orientaciones, las zonas con dirección oeste son las que se encuentran entre 247,5 y 292,5 grados. Por ejemplo, si solo interesan las celdas que toman estos valores, se escribe la expresión correspondiente en la calculadora indicando que se quiere obtener las celdas con valor mayor o igual a 247,5 y valor menor o igual a 292,5 (que es lo mismo que decir las celdas que toman valores entre 247,5 y 292,5).

La nueva capa ráster representa únicamente dos valores: valor 0 y valor 1. Este tipo de ráster muestra el cumplimiento de la condición establecida en el cálculo, asignando un valor 0 a las celdas que no cumplen la condición y un valor 1 a aquellas que sí la cumplen. Esto significa que las zonas con orientación oeste son aquellas que en este nuevo ráster han tomado el valor 1 y que aparecerán coloreadas en un color llamativo una vez realizado el cálculo.

Modelo Digital de Pendientes (MDP)

Igual que el procedimiento anterior, fue necesario contar previamente con el modelo digital de elevaciones; posteriormente, se utilizó la herramienta denominada "Slope" que se encuentra en la extensión Análisis Espacial del software de SIG ArcGIS 10.6: ArcToolbox < Spatial Analyst < Surface < Slope, con el objetivo de obtener la nueva capa dividida en categorías de pendientes. El procedimiento resultó en una capa ráster de pendientes expresada en porcentaje que por defecto toma colores del verde al rojo o alguna otra escogencia de colores.

3.8. Procedimiento de recolección de información

3.8.1 Procedimientos para describir el uso del modelo por el personal del ACG

Los procedimientos utilizados para describir el primer objetivo enfocado en el uso del modelo por el personal del Área de Conservación Guanacaste para determinar una posible propuesta de modificación del modelo estudiado consistió en aplicar técnicas cualitativas directas o interactivas como observación participante, entrevistas y cuestionarios. Las entrevistas se aplicaron en profundidad y se dirigieron hacia la comprensión de las perspectivas que tienen los informantes respecto de sus experiencias con el uso del sistema de cartografía de incendios forestales, así como con las actividades realizadas en la prevención y control de incendios forestales. Las preguntas se enfocaron en la percepción que tienen del modelo y del grado de

utilidad de este sistema de cartografía de incendios a disposición de los usuarios en su ambiente de trabajo.

Para cumplir con este primer objetivo se elaboraron las preguntas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 18 en el cuestionario para integrantes del Comité Técnico (Anexo 3). Asimismo, se aplicaron las preguntas 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 20, 21, 22, 23, 24 y 25 del cuestionario dirigido a los funcionarios del PMF del ACG (Anexo 2).

3.8.2 Procedimientos para determinar la existencia de variables de presión humana que interfieren en el inicio de un incendio forestal

Una de las técnicas de recolección de datos muy importantes en el proceso investigativo son los cuestionarios (Barrantes, 2003). Esta técnica se utilizó para recabar información sobre las variables más importantes de presión humana que inciden en la probabilidad de riesgo de ignición de un incendio forestal en el ACG. En este caso se confeccionaron preguntas tanto abiertas como cerradas con el fin de extraer la mayor cantidad de información sobre el tema.

El modelo actual de cartografía de riesgo de incendios forestales en el ACG carece de variables de presión humana que pueden interferir en el inicio de un incendio tales como caminos, senderos, comunidades ya que este se enfoca en variables asociadas al combustible disponible y factores como pendiente, aspecto y condiciones meteorológicas. Por lo anterior, se pretendió analizar y proponer la inclusión de algunas variables de presión humana en el modelo para darle mayor robustez.

3.8.3 Procedimientos para determinar el nivel de predicción del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG en la detección de incendios forestales

Con el objetivo de determinar el nivel de predicción del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG en la detección de incendios forestales, y mediante la utilización del método deductivo con un diseño no experimental transversal, se realizó un análisis retrospectivo de los incendios forestales ocurridos entre el año 2016 al 2017, en relación con la probabilidad de riesgo para la fecha en que ocurrió cada fenómeno de incendio. Se escogió ese periodo de tiempo, ya que a partir del año 2016 el modelo entra en funcionamiento y emite la capa de probabilidad de ignición para el total del territorio incluido en el modelo. Para esto, se aplicó la herramienta de análisis espacial de ArcGIS 10.6 llamada intersección, con el objetivo

de estimar el nivel de probabilidad de riesgo de incendio para cada suceso ocurrido para el período objeto de análisis.

Una vez obtenido el porcentaje y el área afectada por nivel de riesgo para cada fenómeno, se ordenó por totalidad de área afectada en cada nivel de riesgo para obtener, finalmente, el porcentaje de área consumida según nivel de riesgo o probabilidad de incendio establecida en el Sistema de Cartografía de Riesgo del ACG.

Estos incendios se describen en una base de datos que contiene la capa en formato shapefile de los polígonos de incendios de los últimos veinte años, la fecha del siniestro, el área afectada, el tipo de combustible prevaleciente, la categoría de incendio, el nombre del lugar afectado, el número de personas que participaron en su extinción, entre varias otras.

3.8.4 Procedimiento para proponer la inclusión o modificación del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales en el ACG

Para concluir con una propuesta de modificación de la fórmula del sistema de cartografía de riesgo de incendios del ACG, se procedió a realizar un diagnóstico previo de este. El diagnóstico resultó de la extracción de información luego de aplicadas todas las técnicas, así como los cuatro instrumentos descritos en los apartados anteriores.

3.9 Procedimiento de análisis de la información

Para cumplir con el objetivo de determinar la existencia de variables de presión humana que interfieren en el inicio de un incendio forestal, se realizó un análisis SIG por medio del uso del software ArcGIS 10.6 y su extensión análisis espacial. De esta forma, se determinaron las distancias de centros de población, caminos, senderos y lugares con visitación turística y otras posibles variables en relación con el punto de inicio o focos de incendios incluidos en las bases de datos históricas desde 1997 hasta el 2017. Finalmente, para determinar la presión de las variables que deberían integrar el modelo de cartografía de incendios propuesto, se realizó un análisis multicriterio por medio del criterio experto, externado por funcionarios del PMF del ACG, los cuales asignaron diferentes pesos para cada variable; así, determinar la influencia de cada una de ellas en la ignición de un incendio.

En relación al análisis de la información producto de determinar el nivel de predicción del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG en la detección de incendios

forestales, el procedimiento consistió, por medio de un análisis SIG, en intersectar todos los incendios ocurridos entre el año 2016-2017 con la capa de probabilidad de ignición para el día y hora más cercana a la ocurrencia de cada fenómeno. El resultado de esta intersección mostró cuál era la probabilidad de ignición pronosticada por el modelo para cada incendio. Después de tabular la información para cada uno de los incendios de cada temporada, y por medio de un análisis estadístico, se determinó el porcentaje de efectividad del modelo con relación a la probabilidad de ignición para un área geográfica determinada, así como lo sucedido en la realidad.

Capítulo IV. Presentación y análisis de resultados

4.1 Resultados

A continuación, se presenta el análisis de los datos una vez realizada la tabulación en forma sistematizada luego de la aplicación de dos instrumentos tipo encuesta a funcionarios del ACG.

4.1.1 Análisis de resultados enfocados en la variable uso del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG

4.1.1.1 Conocimiento de la herramienta tecnológica Sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG

Previo a determinar el uso que le da el personal técnico del ACG al modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales que se aplica en su territorio, se consideró importante conocer el grado de conocimiento con que cuentan los funcionarios técnicos del ACG, con el fin de efectuar una evaluación integral de dicho modelo. Desde el punto de vista institucional del ACG, un 60 % de los funcionarios involucrados en aspectos técnicos de manejo de la institución ha escuchado o conoce sobre la existencia de la herramienta llamada Sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales. Sin embargo, solo el 40 % de los entrevistados ha tenido acceso o ha explorado, por medio del sitio web, la plataforma del sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG, porcentaje que disminuye, aún más, cuando se trata del uso de la herramienta, ya que solo un 25 % de los entrevistados afirma haberla utilizado. Lo anterior, además del desconocimiento general por parte del personal técnico sobre el uso de esta herramienta, que comenzó como proyecto piloto en el año 2016, se evidencia la no utilización de esta por la mayoría de los funcionarios que, de una u otra forma, tienen relación con el tema de incendios forestales en esta institución.

4.1.1.2 Resultados del componente diseño, operatividad y actualización de la plataforma tecnológica del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales

En cuanto al diseño de la plataforma tecnológica a disposición del usuario en la página web gestion.incendiosforestales.cr, un 67 % del personal que integra el Comité Técnico del ACG y que conoce la plataforma considera que el diseño y el uso de la herramienta es sencillo. Sin embargo, una tercera parte de los encuestados considera que el diseño de la plataforma es complicado.

En relación con la facilidad de uso de la plataforma web del Sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG, la *Figura 13* muestra que un 40 % de los entrevistados que usan la herramienta está de acuerdo con que la plataforma es amigable con el usuario, mientras que un 20 % de los usuarios está muy de acuerdo. Al no existir posiciones en desacuerdo o muy en desacuerdo, se evidencia que la plataforma resulta con una valoración positiva por parte de los usuarios.

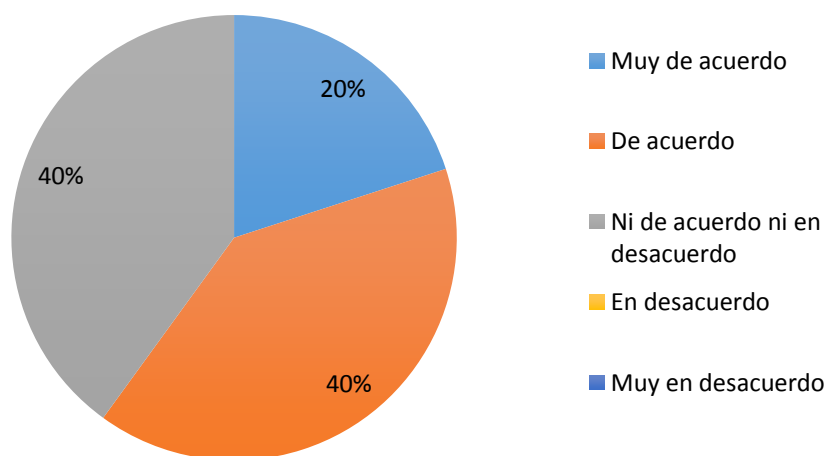


Figura 13. Valoración de la facilidad de uso de la plataforma digital del sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Respecto a la posibilidad de mejora de la plataforma web del Sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG una mayoría, que representa el 67 % de los entrevistados, está de acuerdo en que la plataforma se debe mejorar. Solo un 17 % consideró que está en desacuerdo. La *Figura 14* muestra la distribución de respuestas en relación a si la plataforma web se debe mejorar.

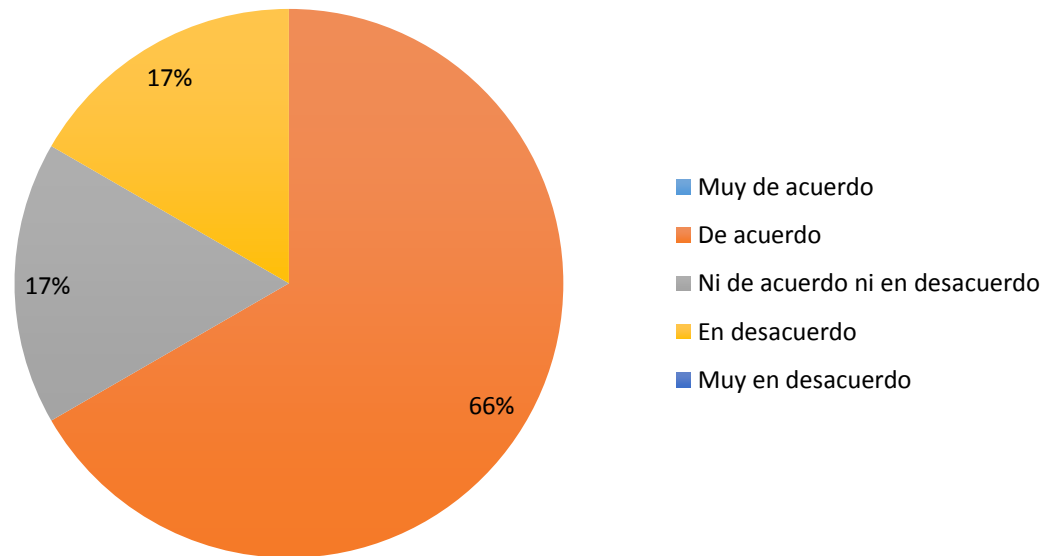


Figura 14. Valoración de los funcionarios en relación con la mejora de la plataforma web del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG. Fuente: Elaboración propia (2019).

En cuanto a los aspectos de mejora descritos en los instrumentos aplicados, dos usuarios sugirieron diseñar una aplicación para teléfonos móviles y que este genere alertas automáticas. También, se mencionó la mejora al acceso a las capas de información, el uso de un mapa más real y el uso datos locales figuran como respuestas en el tema de mejora de la plataforma.

4.1.1.3 Análisis de resultados enfocados en el uso, utilidad e impacto de la herramienta de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG

El uso de la herramienta de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG es fundamental para su propia evaluación, así como su utilidad en la lucha contra los incendios forestales. Al inicio del análisis, se especificó que solo el 25 % de los entrevistados, incluyendo funcionarios del Comité Técnico y del Programa de Manejo del Fuego, ha utilizado la herramienta, por lo que se interpreta la necesidad de incentivar el uso de esta a los posibles usuarios. El interés de uso de la herramienta se centró específicamente en los funcionarios que realizan directamente actividades relacionadas a la gestión y al combate de incendios forestales en el área silvestre protegida del ACG. La *Figura 15* muestra que, de un total de ocho funcionarios destacados en las labores de combate de incendios forestales en el ACG, cinco funcionarios, que representan el 67 % del total entrevistado, no utilizan la herramienta del todo,

mientras que un 25 %, equivalente a dos funcionarios, la utiliza todos los días, y un 12 %, representado por una persona, la utiliza dos veces por semana.

■ Todos los días ■ Dos veces a la semana ■ Una vez a la semana
■ Una vez cada 15 días ■ Una vez cada mes ■ No la utiliza

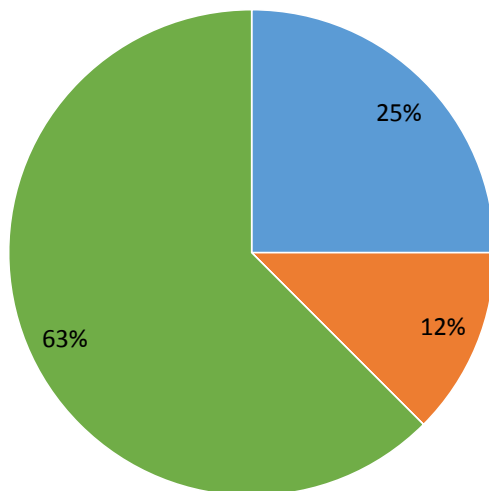


Figura 15. Frecuencia de uso de la plataforma por parte de los funcionarios del Programa de Manejo del Fuego del ACG. Fuente: Elaboración propia (2019).

Solo uno de los tres funcionarios del PMF del ACG, que representa un 33 % de los usuarios, ha tenido problemas de conexión al tratar de visualizar o usar la plataforma disponible en línea. Un componente importante de la herramienta de cartografía de riesgo de incendio es la disponibilidad y actualización de los datos meteorológicos. Estos, en teoría, se actualizan dos veces al día a las 4 a.m. y a las 11:00 a.m. Al consultarle a los funcionarios que utilizan la herramienta, el 100 % considera que casi siempre los datos meteorológicos están actualizados al momento de utilizar el modelo.

Con respecto a la utilidad del Sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG en reducir el número de incendios forestales en el área silvestre protegida y su área de influencia, la totalidad de funcionarios del PMF del ACG que utilizan el modelo tienen un criterio neutral, ya que un 100 % de ellos no está de acuerdo ni en desacuerdo en esa reducción. Esta misma posición prevalece cuando se les consulta a estos funcionarios su opinión con respecto a si el promedio de área afectada se ha reducido desde la aplicación del Sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG. En conclusión, más bien prevalece un criterio

negativo, dado que ninguno de los funcionarios ha notado un cambio positivo en la ocurrencia de incendios forestales después de comenzar a utilizar el Sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales. Un aspecto a considerar en el análisis es que la mayoría de funcionarios del PMF están más enfocados en labores de campo y no necesariamente tienen funciones de análisis de datos.

4.1.2 Análisis de resultados enfocados en las variables de presión humana que inciden en la ignición de un incendio forestal

En relación al segundo objetivo, enfocado en las variables de presión humana que inciden en la ignición de un incendio, se utilizaron las preguntas 14, 15 y 16 para el instrumento aplicado a los funcionarios del Comité Técnico. Para el instrumento aplicado a funcionarios del Programa de Manejo del Fuego, se aplicaron las preguntas 15, 16, 17, 18 y 28. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- ❖ La totalidad de los entrevistados en ambos instrumentos, que representan 20 funcionarios del ACG, considera que las actividades antrópicas sí inciden en el peligro de incendio forestal de un determinado sitio. Por esta misma razón, el 100 % de los entrevistados está de acuerdo en que el Modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG incorpore en su fórmula la variable antropogénica en la detección del peligro de riesgo para un incendio forestal.
- ❖ De todas las actividades antrópicas descritas por los funcionarios que, según su opinión, inciden en el peligro de ignición de un incendio, la que mayor repetición obtuvo es la cultura de quemas en las fincas aledañas al ACG y que se descontrolan por parte de sus dueños. Para un 75 % de los encuestados este es un ejemplo de cómo puede incidir el ser humano en el aumento del riesgo de incendio. En segundo lugar, cinco funcionarios, que representan el 25 % de los encuestados, consideran que las actividades de cacería representan un peligro para la ocurrencia de un incendio. Los entrevistados que hicieron esta afirmación indican que muchos cazadores, con el objetivo de distraer a los guardaparques o apartar la atención de estos en posibles operativos a los sitios donde pretenden cazar, provocan incendios en otro sitio alejado de donde piensan cometer el delito de cacería. Asimismo, el turismo o actividades de recreación en sitios no permitidos dentro o colindantes con las áreas protegidas es un elemento que el 20 % de las 20 personas entrevistadas considera importante. Una de las consecuencias de esta actividad es que, generalmente, las fogatas realizadas por los visitantes se salen de

control o son descuidadas; esto provoca que el viento lleve partículas incandescentes a la vegetación seca cercana, lo cual inicia un incendio.

- ❖ Con el objetivo de determinar cuáles variables deben estar incorporadas en la fórmula que estructura el modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG, se le mostró al entrevistado una serie de opciones para escogencia. Producto de esta pregunta, un 100 % escogió que la distancia de un incendio a poblados, caseríos o parcelas es un elemento que debe estar incorporado en el modelo. Por otra parte, un 66% de los entrevistados declaró que la distancia de un incendio a una carretera o camino es otro elemento a incorporar como un peso en el modelo. Igualmente, un 66 % manifestó que la distancia de un incendio a líneas eléctricas o de alta tensión es otra variable a incorporar en el modelo.
- ❖ Se realizó una evaluación multicriterio con el objetivo de determinar si las variables propuestas en la modificación del modelo de cartografía de riesgo de incendio tienen incidencia en el riesgo de ignición de un incendio. El Cuadro 2 muestra las asignaciones de valores o pesos que, mediante criterio experto, se definieron para cada variable y se han propuesto en el modelo.

Cuadro 2. Resumen de las asignaciones de valores mediante criterio experto

Variable	Evaluación multicriterio				Total	Proporción	%
	Criterio experto						
	C1	C2	C3	C4			
Temperatura	10	9	8	10	37	0,115625	11,5625
Aspecto	8	7	6	10	31	0,096875	9,6875
Pendiente	8	7	10	9	34	0,10625	10,625
Velocidad del viento	9	9	10	10	38	0,11875	11,875
Dirección del viento	9	8	8	9	34	0,10625	10,625
Combustible disponible	10	10	8	10	38	0,11875	11,875
Distancia del punto de ignición a caminos	8	8	7	9	32	0,1	10
Distancia del punto de ignición a poblados	8	6	8	10	32	0,1	10
Distancia del punto de ignición a zonas de cultivo ganaderas	5	6	6	9	26	0,08125	8,125
Actividad turística en zonas de uso público	4	7	4	3	18	0,05625	5,625
					320		100

Fuente: Elaboración propia, 2019

Nota: El criterio experto se basó en la asignación de un valor de 1 a 10 dependiendo del nivel de importancia de la variable dentro del modelo propuesto. El valor total es la suma de los valores por cada variable, mientras que la proporción es el valor de cada variable entre el valor total; posteriormente, esta proporción se multiplicó por 100 para mostrar el porcentaje de cada variable dentro del modelo. Se asignó un código a cada criterio experto compuesto por cuatro funcionarios del PMF del ACG.

Las variables que, según el criterio de experto, deberían tener un mayor peso en el modelo propuesto para el riesgo de incendio en el ACG son velocidad del viento y combustible disponible, con un 11,87 % de peso cada una, seguidos de la temperatura (11,56 %), así como pendiente y dirección del viento con 10,62 %. El análisis multicriterio mostró que las variables antrópicas también tienen una importante incidencia en la posible ignición de un incendio, ya que representan un peso de 33,74 % al sumar las variables distancia de un punto de ignición a caminos, poblados, zonas de cultivo o ganaderas y actividades turísticas en zona de uso público no autorizados.

4.1.3 Análisis de resultados enfocados en la variable relacionada a determinar el nivel de predicción del modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal

En el sistema de cartografía de incendios forestales del ACG, el riesgo de ignición se divide en cinco categorías. Los tonos verdes corresponden a las categorías de probabilidad baja y moderada, el tono amarillo corresponde a probabilidad media y los tonos rojizos son para probabilidad alta y media. De esta forma, se determinó cuál era el tipo de riesgo o probabilidad prevaleciente para cada fenómeno. Además, se contará con una línea base que servirá para determinar el grado de efectividad del modelo para predecir incendios forestales en el área de estudio. La *Figura 16* muestra un ejemplo de cómo se visualiza el Sistema de Cartografía de Incendios Forestales para el ACG.

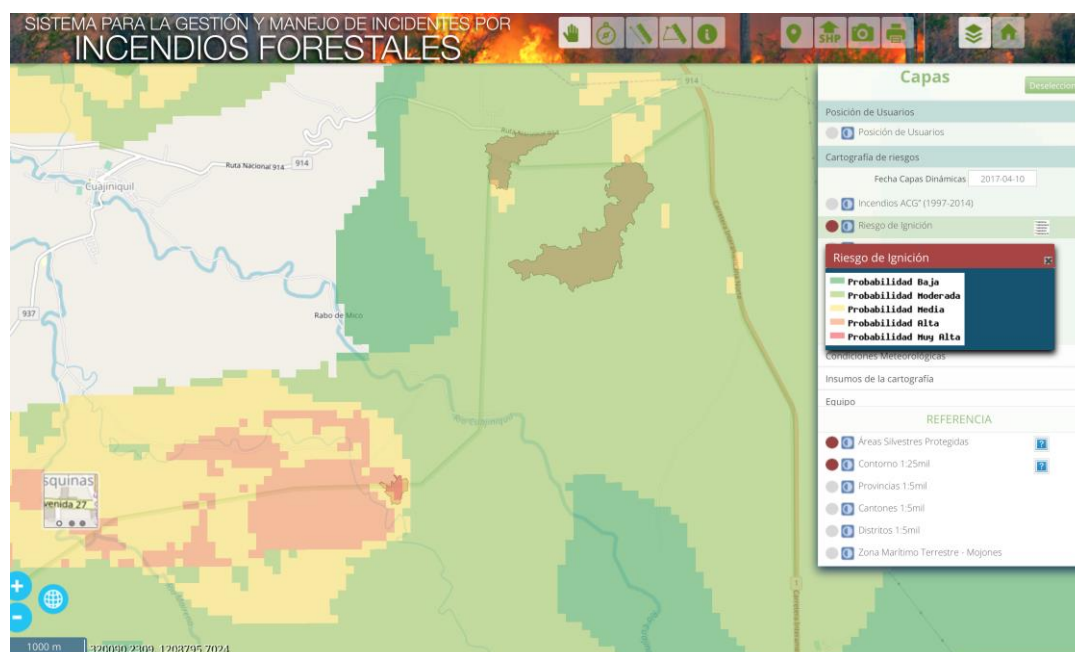


Figura 16. Sistema de Cartografía de Incendios Forestales para el ACG. Fuente: <http://gestion.incendiosforestales.cr> (2019).

Se utilizó el análisis cuantitativo para encontrar respuesta al tercer objetivo relacionado con determinar el nivel de predicción del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales en el ACG en la detección de incendios forestales. Producto del análisis retrospectivo de los incendios ocurridos entre los años 2016 y 2017, se determinó la quema de 1 962 ha, de las cuales el 93 %, equivalente a 1 834 ha para el momento del fenómeno, contaba con una probabilidad moderada de peligro de incendio. Por otro lado, solo el 7 % del área afectada en ese período, que representa 12,7 ha, se estableció en el rango de probabilidad media de riesgo de incendio.

De lo anterior, se deduce que el modelo no acertó una sola ha en probabilidad de peligro de incendio alta o muy alta al igual que probabilidad baja. El análisis cuantitativo estableció que el modelo tiene una amplia capacidad de acertar incendios localizados en un nivel intermedio del rango de posibilidades, por lo que es factible para establecer una propuesta de mejora buscando que en el futuro pueda acertar incendios ubicados en zonas de alta y muy alta probabilidad. Se infiere que existe la posibilidad de que, incorporando la variable antrópica con la asignación de pesos específicos para ciertas variables, las zonas geográficas de alto y muy alto riesgo puedan cambiar su ubicación, ya que actualmente las variables meteorológicas tienen una alta incidencia en la predicción que emite el modelo.

Cuadro 3. Área afectada por cada nivel de riesgo o probabilidad de incendio forestal

FECHA_INCENDIO	PERIMETRO	AREA_m2	AREA_ha	Riesgo	Año	Probabilidad Moderada	Probabilidad Media
05/04/2016	19866,7200	3542800,0000	354,2800	No Datos	2016		
19/04/2016	675,8800	25100,0000	2,5100	Moderada	2016	25100,0000	
06/04/2016	4693,9200	918400,0000	91,8400	No Datos	2016		
05/04/2016	8541,6500	276100,0000	27,6100	No Datos	2016		
11/04/2016	2300,8800	63200,0000	6,3200	No Datos	2016		
11/04/2016	455,0300	6700,0000	0,6700	No Datos	2016		
13/03/2016	2248,6000	176600,0000	17,6600	No Datos	2016		
11/02/2016	4013,5600	394200,0000	39,4200	N/A	2016		
10/01/2016	1419,2300	66000,0000	6,6000	No Datos	2016		
23/02/2016	577,4000	7600,0000	0,7600	No Datos	2016		
13/03/2016	1426,0700	65600,0000	6,5600	No Datos	2016		
18/03/2016	166,9500	1200,0000	0,1200	No Datos	2016		
30/03/2016	53,5000	200,0000	0,0200	No Datos	2016		
30/03/2016	187,6600	2100,0000	0,2100	No Datos	2016		
05/04/2016	28220,1000	12201400,0000	1220,1400	No Datos	2016		
30/03/2016	672,2700	18700,0000	1,8700	No Datos	2016		
30/03/2016	2164,8800	236500,0000	23,6500	No Datos	2016		
24/03/2016	2307,2100	228900,0000	22,8900	No Datos	2016		
26/04/2016	966,3200	34400,0000	3,4400	Moderada	2016	34400,0000	
26/04/2016	190,9500	1700,0000	0,1700	Moderada	2016		
26/04/2016	136,3900	1200,0000	0,1200	Moderada	2016	1200,0000	
28/03/2016	3405,0600	187300,0000	18,7300	No Datos	2016		
14/03/2016	1437,9000	98000,0000	9,8000	No Datos	2016		
04/03/2017	1620,3000	60600,0000	6,0600	35 Moderada 65 Media	2017	21210	39390
07/03/2017	424,9500	6900,0000	0,6900	Moderada	2017	6900,0000	
07/03/2017	215,3600	1900,0000	0,1900	Moderada	2017	1900,0000	
15/04/2017	8406,3000	901000,0000	90,1000	98 Moderada 2 Media	2017	882980	18020
12/04/2017	3380,1900	257100,0000	25,7100	90 Moderada 10 Media	2017	231390	
08/04/2017	2545,1000	191300,0000	19,1300	Moderada	2017	191300,0000	
13/04/2017	1156,5000	28900,0000	2,8900	90 Moderada 10 Media	2017	26010	2890
13/04/2017	405,7200	8600,0000	0,8600	Moderada	2017	8600,0000	
09/04/2017	2351,3800	110000,0000	11,0000	50 Moderada 50 Media	2017	55000	55000
25/04/2017	4815,0100	316100,0000	31,6100	Moderada	2017	316000,0000	
04/05/2017	1168,5200	41400,0000	4,1400	70 Moderada 30 Media	2017	28980	12420
04/05/2017	251,2500	3400,0000	0,3400	Moderada	2017	3400,0000	
25/04/2017	356,6800	2800,0000	0,2800	N/A	2017		
31/03/2017	1710,6600	83000,0000	8,3000	N/A	2017		
20/04/2017	591,1500	11700,0000	1,1700	N/A	2017		
		20578600,0000				1834370	127720
							1962090

Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.2 Discusión

A continuación, se presenta la discusión de los resultados una vez realizado el análisis de resultados producto de la de la aplicación de dos instrumentos: tipo encuesta a funcionarios del Área de Conservación Guanacaste, así como entrevista al coordinador nacional del Manejo del Fuego del SINAC.

4.2.1 Conocimiento del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG

La plataforma de cartografía de riesgos de incendio forestal del ACG es desconocida por el 40 % de los funcionarios involucrados en la estructura técnica de decisión y manejo del ACG. Al parecer, la plataforma no se ha promocionado o difundido a lo interno del ACG, ya que casi un 70 % de los integrantes del Comité Técnico del ACG indicó que, en ese espacio de discusión de temas técnicos, nunca se ha presentado, y menos discutido, la plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal. Igualmente, a lo interno del PMF, un 25 % de funcionarios directamente involucrados en la temática de incendios forestales indica desconocer de la plataforma, mientras que un 63 % manifestó haber escuchados de ella en las diferentes reuniones programadas del programa. En conclusión, es necesario mayor difusión del sistema entre todos los funcionarios involucrados en las estructuras de toma de decisión en las labores de gestión y manejo de los incendios forestales en el bosque seco del ACG.

4.2.2 Uso y utilidad de la herramienta de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG

Diversas investigaciones enfocadas en la prevención y evaluación del riesgo de incendios forestales, enfatizan en que los recursos disponibles previos a un incendio requieren el uso de herramientas objetivas para monitorear cuando y dónde un fenómeno de este tipo puede ocurrir, o bien cuando y dónde el impacto de estos será más negativo (Chuvieco et al., 2012).

En el análisis de resultados, se detectó que, del total de los funcionarios entrevistados, solo un 25 % usa la plataforma de cartografía de riesgo de incendios forestales para el monitoreo efectivo de un potencial incendio en el área de bosque seco definido en el modelo. Aunque se puede inferir que el uso del sistema de cartografía de riesgo es un aspecto esencial en las labores de planificación previo a un fenómeno, también se pueden interpretar los resultados anteriores en que el uso de este sistema es relativo, ya que es el jefe del PMF, por jerarquía, es quien decide a donde se dirigen las patrullas en un día en específico. Por lo tanto, con solo una

persona que use el sistema de cartografía de riesgo es suficiente para la toma de decisiones. Aun así, es indispensable que todos los funcionarios del ACG involucrados en la temática de incendios forestales conozcan y utilicen efectivamente la plataforma, puesto que el uso de este sistema es el primer paso para determinar las variables que se deben incorporar para mejorar el uso y la efectividad en la aplicación del modelo en el ACG. De esta forma, es necesario incentivar el uso de esta herramienta al encargado del PMF y otros funcionarios que deban sustituir al jefe en caso de ausencia. También se debe considerar a otros potenciales usuarios como en el campo de las emergencias, por ejemplo.

Otro aspecto a considerar en el análisis de las opiniones neutras, y en algunos casos hasta negativas, con respecto a la utilidad del sistema es que la mayoría de funcionarios del PMF están más enfocados en labores de campo y no necesariamente tienen funciones de análisis de datos. Sin embargo, es importante contar con funcionarios capacitados en el manejo del sistema como se mencionó en el párrafo anterior.

4.2.3 Disponibilidad de la plataforma y datos asociados

El uso y disponibilidad de la plataforma en tiempo real es fundamental para establecer estrategias y acciones encaminadas a la reducción del impacto generado por los incendios forestales en la temporada seca en el ACG. El mapa dinámico generado por el modelo es un ejemplo de esto, ya que alerta dónde ocurre la mayor probabilidad de un incendio para una fecha en específico. Sin embargo, un 33 % de los funcionarios estima que han tenido problemas de conexión vía web, así como en la disponibilidad de datos. Esta situación se confirma, pues al realizar el análisis cuantitativo de los incendios ocurridos en el período 2016-2017, en relación con el riesgo o posibilidad de incendio para un evento en específico, se detectó que hay faltante de datos para tres días del año 2017, momento en el que ocurrió un incendio. La totalidad de funcionarios considera que, casi siempre, la disponibilidad de datos meteorológicos está presente al acceder la plataforma.

4.2.4 Diseño y actualización de la plataforma

Existe una valoración positiva del diseño de la plataforma a disposición del usuario en la página web gestion.incendiosforestales.cr, ya que un 67 % del personal que integra el Comité Técnico del ACG y que conoce la plataforma considera que el diseño y uso de la herramienta son sencillos al momento de accederla. Al carecer de posiciones en desacuerdo o muy negativas,

se infiere que el diseño y el uso de la plataforma son amigables con el usuario y que esto no es un impedimento para evitar el acceso a ella.

En cuanto a la posibilidad de mejora de la plataforma y su potencial para ampliar su rango de uso, un 67 % de los encuestados está de acuerdo en que la plataforma se debe mejorar en relación con aspectos como diversificación de opciones para accederla, tales como la disponibilidad y uso de esta en aplicaciones específicas para dispositivos móviles, en donde puedan obtener alertas en caso de emergencias o zonas con probabilidad alta o muy alta de incendio.

4.2.5 Utilidad e impacto de la herramienta de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG

Uno de los objetivos en la creación del modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales fue la reducción del área afectada por los incendios forestales en el área silvestre protegida del ACG y su área de influencia. Desde el punto de vista de la percepción de los funcionarios del PMF del ACG, el modelo aún no ha influido, ya que mantienen una posición neutral, tanto en la reducción del área afectada como en el número de incendios. Esta opinión se fundamenta en las estadísticas del número de hectáreas afectadas en el período en el que ha estado en funcionamiento el modelo 2016-2017, pues no se puede determinar una reducción real. Por ejemplo, hubo una afectación de cerca de 2 000 ha en el año 2016, mientras que el año 2017, el área afectada se redujo a menos de 400 ha. Sin embargo, como se muestra en la *Figura 17*, el comportamiento de los incendios forestales a través del periodo registrado de estos en el ACG (1997-2017) evidencian que hay una gran variabilidad en relación al área afectada, por lo que es muy difícil establecer alguna influencia directa del uso del modelo de cartografía de incendios y la reducción de área hasta que no se marque una tendencia a la baja y se pueda determinar que la eficacia de las acciones de manejo y prevención producto de la lectura del pronóstico o predicción del modelo puedan explicar esa disminución.

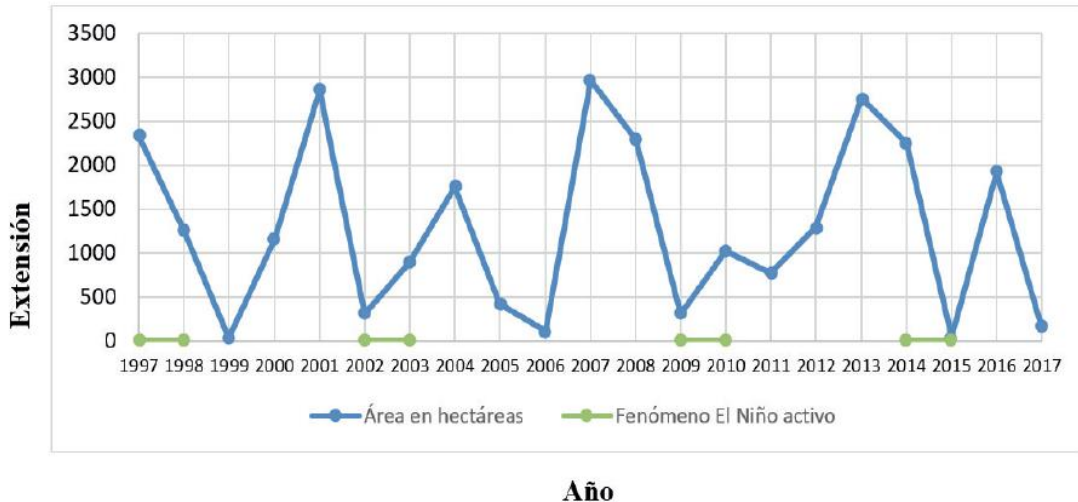


Figura 17. Cantidad de hectáreas afectadas anualmente por incendios forestales en relación con años de eventos Niño. Área de Conservación Guanacaste. Período 1997-2017. Fuente: Álvarez & Jones (2018).

4.2.6 Presión humana en la ignición de un incendio

En Costa Rica, el SINAC ha estimado que el 99 % de los incendios forestales son de tipo antropogénico, causados de manera involuntaria, negligente o en forma premeditada (Sistema Nacional de Áreas de Conservación, 2012). La afirmación anterior es respaldada por el 100 % de los encuestados, ya que estos manifiestan que, en relación a la variable presión humana, las actividades antrópicas sí intervienen en el peligro de incendio forestal para un sitio determinado. Por lo tanto, todos están de acuerdo en incorporar en el modelo de cartografía de riesgo, pesos relacionados a esta variable.

La influencia de factores humanos es considerada una de las principales metas en una variedad de estudios comúnmente basados en aproximaciones estadísticas, las cuales tratan de explicar las causas históricas humanas en la ocurrencia de incendios basadas en un conjunto de variables independientes (Chuvienco et al., 2012; Padilla & Vega, 2011; Chuvienco & Justice, 2010). Por ejemplo, investigaciones en este tema han determinado que los regímenes de fuego antropogénico están caracterizados por la ocurrencia de incendios agrupados cerca de caminos (Yang et al., 2007; Pelizzari et al., 2008; Puri et al., 2011).

De una lista de posibles variables de presión humana que deberían estar incluidas en el modelo de cartografía de incendios forestales del ACG, el 100 % de los encuestados escogió que la distancia de un incendio a poblados, caseríos o parcelas es un elemento que debe estar

incorporado en el modelo. Dicha afirmación se respalda en Álvarez & Jones (2018), quien determinó, a partir de un análisis de áreas afectadas por incendios forestales en el ACG, que los tres sectores del ACG de mayor recurrencia de incendios son El Hacha, Murciélagos y Santa Elena, en los cuales se visualiza, según la *Figura 18*, que la recurrencia se relaciona a algunos sectores que se encuentran ubicados en áreas aledañas a carreteras secundarias o comunidades de los cuales se originan algunos fuegos que se convierten posteriormente en incendios forestales.

Al consultarle a los encuestados su opinión sobre las variables de presión humana que mayormente inciden en el peligro de ignición de un incendio forestal, un 75 % de estos coinciden en que la cultura de quemas en las fincas aledañas al ACG, así como el descontrol de estas por parte de sus dueños, son variables fundamentales en el riesgo de ignición de un incendio. A pesar de que existen protocolos y directrices para la realización de actividades relacionadas a las quemas controladas, todavía existe negligencia por parte de la población para acatar y aplicar los protocolos que tienen como fin la prevención de incendios. Asimismo, la falta de educación en temas ambientales podría ser un factor determinante en la ocurrencia de este tipo de fenómenos, ya que en muchos casos existe desconocimiento en parte de la población sobre los graves impactos originados por los incendios forestales sobre la biodiversidad, así como para las comunidades aledañas a las áreas silvestres protegidas del ACG.

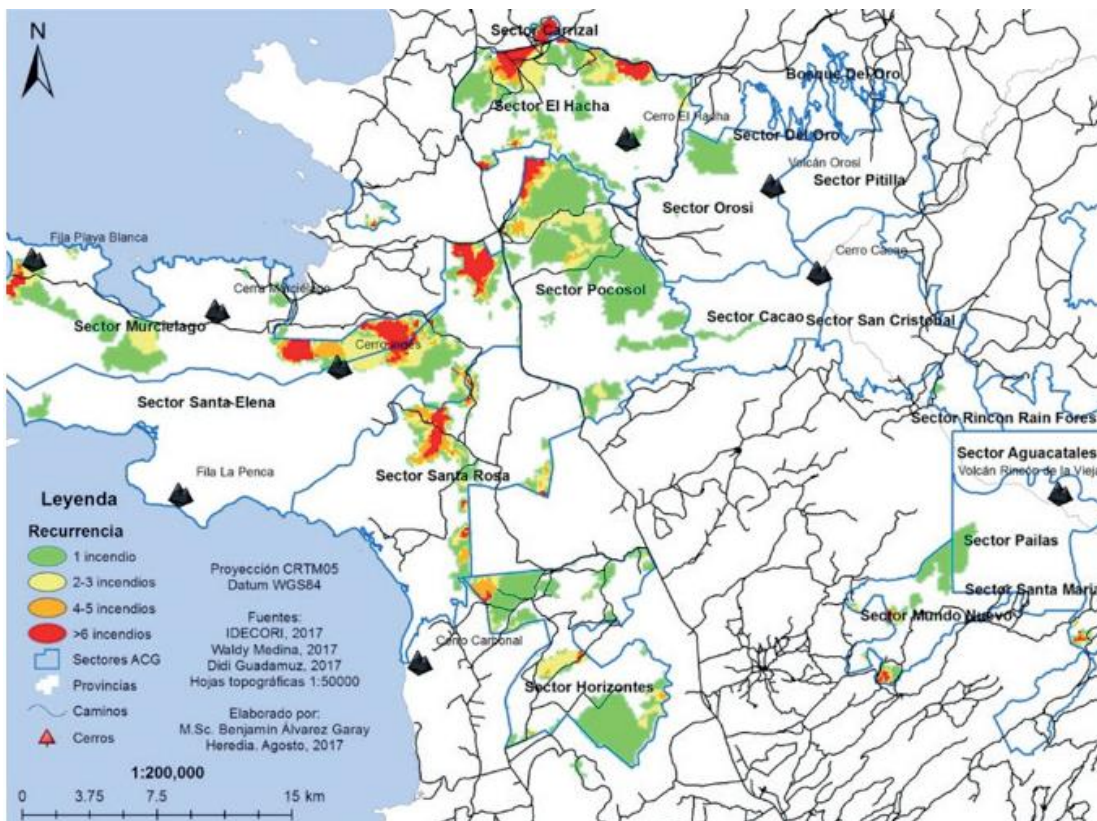


Figura 18. Mapa de ocurrencia-recurrencia de incendios en el Área de Conservación Guanacaste considerando sus 17 sectores. Período 1997-2017. Fuente: Álvarez & Jones (2018).

En menor grado de coincidencia, pero importante de analizar, un 25 % de los encuestados considera que las actividades de cacería representan un peligro para la ocurrencia de un incendio. Los entrevistados que hicieron esta afirmación indican que muchos cazadores, con el objetivo de distraer a los guardaparques o apartar la atención de estos en posibles operativos a los sitios donde pretenden cazar, provocan incendios en otro sitio alejado de donde piensan cometer el delito de cacería. Esta opinión se fundamenta en la literatura existente que indica que el 99 % los incendios forestales en Costa Rica son ocasionados por las actividades humanas, ya sea de forma involuntaria, negligente o en forma premeditada, como es el caso de la venganza por parte de cazadores en algunos casos o como forma de distraer a los bomberos forestales (Vega-Araya, 2015).

Los resultados de la evaluación multicriterio confirman que las variables antrópicas distancia de un punto de ignición a caminos, poblados, zonas de cultivo o ganaderas y actividades turísticas en zona de uso público no autorizados, a incorporar y propuestas en el modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal del ACG, deberían ser elementos medulares de esta, debido a que el criterio experto propone un peso total de un 33 % para las variables que en conjunto

componen esta categoría y que, finalmente, inciden en la ignición de un incendio. La afirmación anterior se respalda en otros estudios que indican que factores antrópicos como proximidad a caminos y poblaciones, densidad de caminos, actividades humanas, son variables importantes que influyen la ocurrencia o ignición de un incendio (Ávila et al., 2010; Dong et al., 2005; Alencar et al., 2004; Jaiswal et al., 2005).

También existen modelos de riesgo de incendio forestal que incluyen parámetros o variables antrópicas en la conformación de su fórmula. Por ejemplo, el Índice Estructural del Fuego es un índice empírico de riesgo de incendio forestal que se basa en la combinación de cinco variables influyentes, a saber, humedad de la vegetación, pendiente, aspecto, elevación y distancia de los caminos o carreteras (Chuvieco & Congalton, 1989). Este índice ha sido usado en España (Chuvieco & Congalton, 1989), Portugal (Pelizzari et al., 2008), Turquía (Saglan et al., 2008) y en la provincia del Golestan, Irán (Adab et al., 2013), para mapear el riesgo de incendios forestales.

Otro índice, que está compuesto en parte por variables humanas y que justifica la inclusión de estas en la presente investigación y propuesta planteada al ser determinantes en la localización y riesgo de incendios, es el Índice de Riesgo de Incendio, conocido en inglés como Fire Risk Index (IFR). Este índice incluye entre sus variables la distancia a caminos y la cercanía a poblados o asentamientos y se ha utilizado en Turquía (Erten et al., 2004), así como en Grecia (Siachalou et al., 2009).

4.2.7 Discusión de resultados enfocados en la variable relacionada a determinar el nivel de predicción del modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal

Una vez realizado el análisis cuantitativo, se determinó que el modelo no acertó una sola hectárea en probabilidad de peligro de incendio alta o muy alta al igual que probabilidad baja. El resultado anterior se debe, en parte, a que el modelo carece de algunas variables antropogénicas como distancia de un incendio a caminos, fincas privadas o parcelas y sitios de visitación turística no autorizados. El análisis preliminar determinó que el 93 % de los incendios forestales están localizados en un nivel intermedio del rango de posibilidades, por lo que es factible establecer una propuesta de mejora buscando que en el futuro pueda acertar incendios ubicados en zonas de alta y muy alta probabilidad. Se infiere que existe la posibilidad de que, incorporando la variable antrópica con la asignación de pesos específicos para ciertas variables, así como la modificación de los pesos existentes, las zonas geográficas de alto y muy alto riesgo puedan cambiar su ubicación, ya que actualmente las variables meteorológicas tienen

una alta incidencia en la predicción que emite el modelo, puesto que los mayores pesos se distribuyen en variables de ese tipo.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Hallazgos relevantes

A continuación, se resumen los principales hallazgos y recomendaciones del proyecto de investigación una vez analizados y discutidos los resultados más importantes. Estos hallazgos sirvieron de base para plantear la propuesta de mejora o intervención.

5.1.1 Hallazgos en relación con el conocimiento y uso del sistema de cartografía de riesgo de incendio forestal

Uno de los principales hallazgos fue que la mayoría de funcionarios del ACG que trabajan en ramas técnicas, así como en labores de planificación y combate de incendios forestales, aunque han escuchado o conocen sobre la existencia de la plataforma de cartografía de riesgo de incendios forestales, no la han explorado en la web, por lo que tampoco la han usado. Solo un 25 % de los encuestados afirmó haber utilizado alguna vez la herramienta de cartografía de riesgo de incendio forestal. Esto evidencia que existe un desconocimiento generalizado de la herramienta por parte de los principales usuarios del modelo.

Es imperante la necesidad de comunicar y difundir la plataforma a todos los potenciales usuarios del ACG y SINAC, con el objetivo de cubrir la mayor cantidad de población meta.

Se recomienda elaborar un plan de comunicación con la intención de dar a conocer la herramienta y familiarizar a los usuarios con esta.

Se determinó que la plataforma requiere de una actualización en su estructura visual, así como en la modificación de la fórmula que estructura su funcionamiento para el componente de detección del riesgo de incendio.

5.1.2 Hallazgos relacionados a las variables de presión humana que inciden en la ignición de un incendio

Con relación a la variable presión humana, hay consenso en todos los encuestados de que las actividades antrópicas sí intervienen en el peligro de incendio forestal para un sitio determinado,

por lo que es indispensable la incorporación de algunas variables de tipo antrópico y la variación de pesos de las variables ya existentes en la plataforma.

Se concluye que la variable distancia de un incendio a poblados, caseríos o parcelas es el principal elemento que debe estar incorporado en el modelo. Por lo tanto, se recomienda su inclusión en la fórmula que estructura el componente de predicción o pronóstico de riesgo de incendio.

La cultura de quemas en parcelas y fincas aledañas al ACG es la principal actividad antrópica que incide en el peligro de ignición de un incendio. Su incidencia en el peligro de incendio se debe a que estas se pueden salir del control de los propietarios de los inmuebles y afectar el área silvestre protegida colindante.

5.1.3 Hallazgos en el objetivo enfocado en determinar el nivel de predicción del modelo a partir del análisis retrospectivo de los incendios ocurridos entre 2016-2017

El análisis retrospectivo de los incendios ocurridos en el periodo 2016-2017 determinó que el modelo actual es efectivo en predecir incendios en los rangos intermedios, ya que el 93 % de los incendios ocurridos se estableció en las categorías de riesgo medio.

El modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal no acertó la ocurrencia de incendios en la categoría de riesgo alto y muy alto. Lo anterior es un indicador de que en el modelo actual, las variables meteorológicas como temperatura y velocidad del viento hacen que las áreas con mayor peligro de incendio estén relacionadas donde las condiciones climáticas y naturales son más propicias para el inicio de un incendio forestal. Sin embargo, el análisis espacial indicó que, en el caso del ACG, los incendios están ocurriendo donde las condiciones climáticas no son las más fuertes, sino a factores antrópicos que también tienen influencia directa en la ignición de un incendio. Esto representa un elemento clave para plantear una propuesta de modificación en la fórmula que se enfoque en la predicción de incendios ubicados en el rango de alta y muy alta probabilidad de riesgo de incendio.

En la investigación, no se ha logrado determinar que con el uso de la herramienta de cartografía de riesgo de incendio forestal y las acciones asociadas, se haya reducido el área afectada por incendios o haya disminuido la cantidad de eventos de incendios ocurridos en el ACG entre los

años 2016 al 2017. Esta afirmación se fundamenta en el análisis de las estadísticas del número de hectáreas afectadas en el período de análisis.

5.1.4 Conclusiones enfocadas en el objetivo de proponer la inclusión o modificación del modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal

El análisis determinó que es factible la modificación de la fórmula que estructura el modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal del ACG, ya que el modelo no ha sido capaz de acertar la ocurrencia de un incendio en la categoría de riesgo alto y muy alto.

Se recomienda una propuesta de modificación en la fórmula que estructura el modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal. En primer lugar, modificar los pesos de las variables ya existentes y, en segundo lugar, incluir las nuevas variables antropogénicas, las cuales se determinó en la investigación que tienen un peso importante en la ocurrencia de un incendio forestal.

5.2 Propuesta para la solución del problema planteado

La propuesta de intervención consiste en el rediseño de la plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal a través de la variación en el peso de las variables existentes, así como la incorporación o establecimiento de pesos a una serie de nuevas variables de tipo antropogénico a la fórmula del modelo que predice el riesgo o probabilidad de que un incendio forestal ocurra. Los nuevos pesos estarán determinados por un criterio de experto. También, la propuesta encierra la formulación de un plan de comunicación con el objetivo de ampliar el conocimiento de la estructura y la funcionalidad del sistema de cartografía de riesgo de incendio.

A partir del análisis y discusión de resultados realizado en el capítulo IV, en el que se evaluó el Sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG, específicamente en los diferentes aspectos de uso, conocimiento, operatividad y actualización, se determinaron algunos elementos y oportunidades de mejora en el modelo estudiado. Según este diagnóstico, se compararon los resultados contrastándolos con las opciones y posibilidades técnicas, contextuales, entre otras, de parte del investigador.

A manera de resumen, los funcionarios que trabajan en la parte técnica y de manejo del fuego en el ACG señalaron que la inducción y capacitación para el uso del sistema de cartografía, así

como el cambio en el peso y composición de las variables que estructuran el modelo son los principales aspectos que deben cambiarse. Además, se deberían incluir más opciones en el campo tecnológico para facilitar el acceso a la plataforma, así como a los datos.

La opción de realizar cambios en la plataforma es viable en un corto plazo dependiendo de la decisión de las autoridades del PNMF, quien tiene comunicación y un convenio con la empresa Addax, encargada de darle soporte y mantenimiento a la plataforma de cartografía de riesgo.

Un aspecto esencial que debe considerarse en la propuesta es la usabilidad por parte del potencial usuario; aspecto que se relaciona con la utilidad, eficacia, efectividad, conveniencia y facilidad de uso. Por lo tanto, es indispensable que la plataforma tecnológica cuente con una alta usabilidad e, idealmente, sea de acceso abierto, considerando la variedad de la población meta y sus competencias en el uso de la tecnología.

Capítulo VI. Propuesta o producto

Este capítulo plantea la propuesta enfocada en mejorar el sistema actual de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG una vez realizado un diagnóstico de este. Por lo tanto, se propone, a continuación, la modificación de la fórmula que estructura su funcionamiento, por medio de la inclusión de nuevas variables y pesos asociados a estas. Asimismo, se propone un plan de comunicación y las distintas etapas que se deben seguir para el conocimiento y difusión de la plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal en sus potenciales usuarios.

6.1 Objetivos de la propuesta

6.1.2 Objetivo general

Mejorar el sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales del ACG mediante la modificación de su fórmula y la actualización de su plataforma.

6.1.3 Objetivos específicos

Apoyar la planificación estratégica y la gestión eficiente del Programa de Manejo del Fuego del ACG mediante una herramienta de predicción de riesgo de incendio más robusta.

Diseñar un plan de comunicación de la plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal para involucrar el mayor número de usuarios potenciales.

6.2 Enfoque epistemológico de la propuesta

La Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales es un programa que pertenece a las llamadas Ciencias Naturales y, por tanto, se desarrolla dentro de un paradigma intelectual-social-crítico en el que se motiva a la construcción continua de conocimiento nuevo mediante la realización de una investigación científica que genere propuestas capaces de provocar una transformación social en cuanto al manejo de los recursos naturales.

6.3 Justificación de la propuesta

La propuesta se enmarca a partir de dos de los hallazgos más importantes luego de realizar el diagnóstico. En primer lugar, se detectó que la plataforma requiere de una modificación, tanto en la fórmula que estructura su funcionamiento, donde es necesaria la inclusión de pesos y variables, los cuales están ausentes en el modelo actual, así como su actualización en su componente visual. En segundo lugar, existe la necesidad de comunicar y difundir la plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal producto del amplio desconocimiento de esta por los funcionarios del ACG.

Dicha propuesta tecnológica de mejora debe adaptarse a la realidad del ACG considerando e incluyendo las principales variables antrópicas que sean detectadas por medio del criterio experto y producto del análisis espacial de los eventos de incendios de los últimos 20 años.

La propuesta se elaboró contextualizando a la población meta, ya que será utilizada tanto por funcionarios del comité técnico del ACG, integrantes del PMF, así como otros funcionarios que tengan interés en el monitoreo de los incendios forestales en el ACG y zonas aledañas. También, se consideró a potenciales usuarios externos con igual interés en el tema.

En consecuencia, la propuesta se diseñó para brindar seguridad, interés y motivación en el tema de gestión y manejo del fuego, al potenciar una opción más para predecir el comportamiento del riesgo de un incendio forestal. Por lo tanto, técnica y pedagógicamente debe contar con un diseño gráfico atractivo, así como con una organización iconográfica que facilite su lectura e interpretación apropiada.

Uno de los aspectos medulares de la propuesta es lograr un mayor conocimiento de la plataforma e incentivar su uso. De esta forma, se tienen que considerar los principios heurísticos y de uso planteados por algunos autores. Entre los principios de usabilidad descritos por Varela (2018, p. 110), se encuentran la visibilidad del estado del sistema, la coincidencia entre el sistema y el mundo real, y reconocer en lugar de recordar (Preece et al., 2015). También, la propuesta planteada es heurística, ya que la plataforma es un ejemplo de insumo educativo tecnológico que promueve el aprendizaje por descubrimiento, pues el usuario tiene la oportunidad de adquirir conocimiento a través de la exploración. Asimismo, es a través de las propuestas heurísticas donde el sujeto llega al conocimiento a partir de la experiencia, construyendo sus formas o modelos de pensamiento y buscando formas propias de interpretar el mundo (Pérez, 2014).

6.4 Estructura de la propuesta

La propuesta de solución consiste en contar con una plataforma robusta de cartografía de riesgo de incendio forestal que ofrezca elementos fehacientes para la toma de decisiones a cualquier usuario que tenga interés en el comportamiento y monitoreo del riesgo de incendio forestal en el ACG y su área de influencia. A continuación, se propone la modificación de la fórmula que estructura su funcionamiento por medio de la inclusión de nuevas variables y pesos asociados a estas:

Índice de riesgo de incendio (IRI)

$$(IRI) = (0,11t + 0,09a + 0,10p + 0,11v + 0,10d + 0,11c + 0,10dc + 0,10dp + 0,08dgc + 0,05dt)$$

Aquí, t, a, p, v, d, c, dc, dp, dgc y dt indican temperatura, aspecto, pendiente, velocidad del viento, dirección del viento, combustible disponible, distancia de punto de ignición a caminos, distancia de punto de ignición a poblados, distancia de puntos de ignición a cultivos o ganadería y distancia de puntos de ignición a actividades turísticas en sitios no permitidos.

La plataforma de cartografía de riesgo del ACG será conocida por los potenciales usuarios, ya que paralelo a su actualización, se conformará un plan de comunicación debidamente estructurado que permita una dinámica de comunicación interna y externa al ACG, de forma que la comunicación sea facilitada por diversos medios y comprensible para cualquier usuario. El plan de comunicación permitirá compartir el conocimiento en el tema de incendios forestales y concientizar sobre la importancia de reducir la afectación ocasionada por los incendios forestales. La propuesta está basada en los principios ambientales de proteger los recursos naturales y la biodiversidad asociada, gestionar el uso sostenible de los recursos naturales, y mejorar el medio ambiente y la salud.

El plan de comunicación cuenta con una serie de actividades de difusión a grupos específicos en diferentes etapas, las cuales se exponen a continuación.

6.5 Etapas de la propuesta.

6.5.1 Etapas del plan de comunicación

La primera etapa del plan de comunicación está relacionada a dar a conocer la plataforma de riesgo de incendio forestal. La *Figura 19* muestra cada uno de los componentes de la primera etapa.

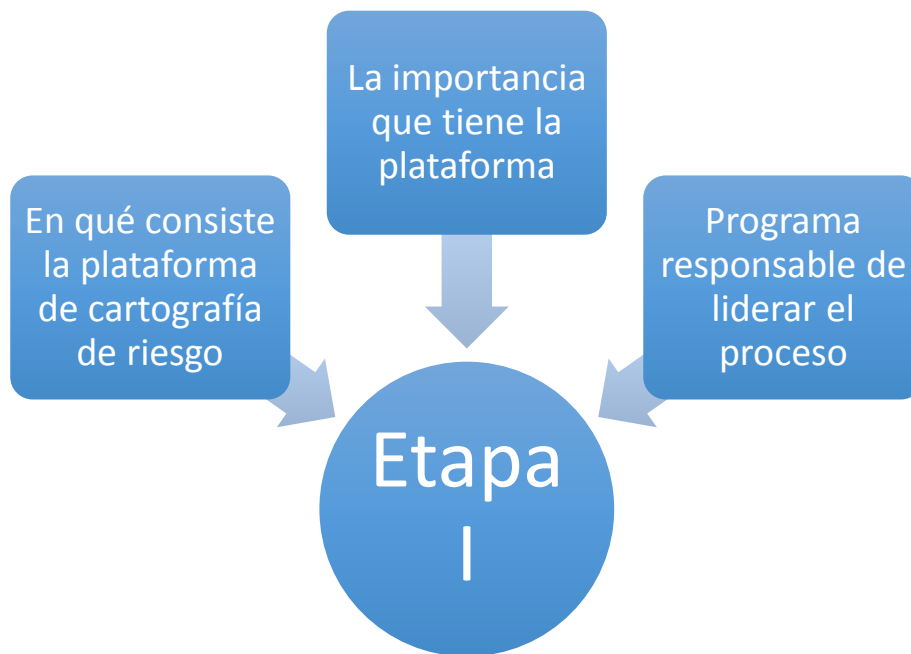


Figura 19. Componentes de la Etapa I del plan de comunicación. Fuente: Elaboración propia (2019).

En esta etapa, se definirán los grupos meta, así como los medios que se utilizarán para hacer llegar la información al usuario sobre la existencia y fin de la plataforma. La *Figura 20* muestra los grupos meta y los medios a utilizar.

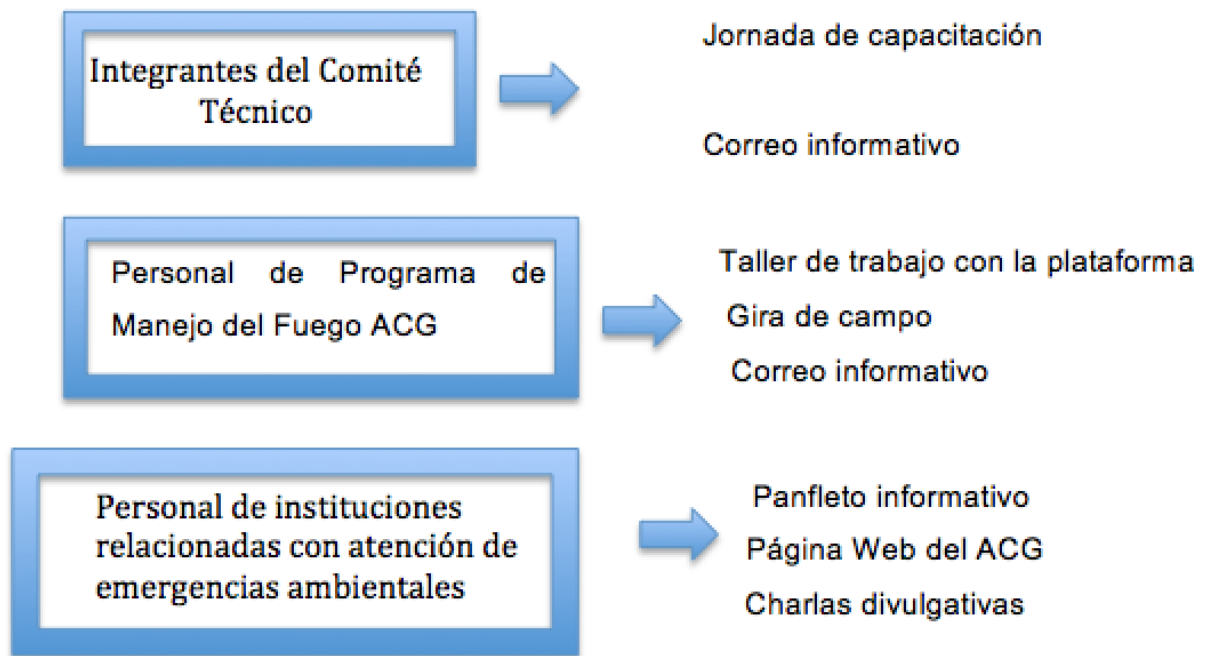


Figura 20. Identificación de grupos meta y medios transmisores de información. Fuente: Elaboración propia (2019).

La segunda etapa consiste en la comunicación de las acciones y avances una vez realizadas las modificaciones propuestas y puesta en marcha del modelo de cartografía de riesgo con las nuevas variables y pesos asignados a estas. Es imprescindible contar con un mapeo de las actividades realizadas y reflejar a los interesados la localización actual del proyecto.

La tercera etapa culmina con los informes finales que se distribuirán por medios como la página web y panfletos informativos. También, incluirá un proceso de evaluación por medio de encuestas con el objetivo de determinar si hubo algún cambio en el uso de la plataforma de cartografía de incendios forestales del ACG.

6.5.2 Medios a utilizar

6.5.2.1 Capacitaciones

Se propone tres capacitaciones de cuatro horas cada una a cada grupo meta identificado. Estas serán de carácter presencial, donde se brindará información explicativa y dinámica sobre la plataforma, su funcionamiento y su importancia. Al final de cada capacitación se contará con una autoevaluación para comprobar el conocimiento adquirido en ellas.

6.5.2.2 Correos informativos

A través de una serie de correos informativos, se mantendrá informado a los grupos meta sobre la conformación de la plataforma, los cambios realizados, las actualizaciones y la capacidad de esta para pronosticar los eventos de incendios. De esta forma, los correos incentivarán el uso regular de esta en la temporada de incendios forestales en el ACG.

6.5.2.3 Sitio Web

Utilizando como insumo la página actual del ACG, la cual es muy visitada por una gran gama de usuarios interesados en obtener información sobre diversos aspectos del ACG, se promocionará y se direccionará al potencial usuario al sitio oficial de la plataforma de cartografía de riesgo y se desplegará una serie de videos sobre la estructura y el funcionamiento de la plataforma de riesgo de incendios forestales del ACG.

6.5.2.4 Panfletos informativos

Los panfletos informativos son un recurso donde, a través de esquemas y lenguaje fácil de entender, se puede comunicar a los grupos meta una variada gama de temas, dependiendo del estado de avance de la plataforma.

6.6 Etapas de la propuesta de modificación de la fórmula del modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal del ACG

Para la propuesta de modificación de la fórmula del modelo o plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal, se utilizará una adaptación del modelo cíclico en cascada (Preece et al., 2015), el cual presenta una estructura lineal en donde cada fase posterior depende de la anterior. Sin embargo, tiene la facilidad de que se pueden realizar cambios en caso de necesitar volver a la fase previa.

La primera etapa consiste en efectuar el estudio de los requerimientos, características y criterios que se utilizarán para definir las nuevas variables o modificación de los pesos de las variables actuales que conforman la fórmula del modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal del ACG. De esta forma se contará con un panorama claro de cara a cumplir con el objetivo esperado. La segunda fase consiste en el diseño de la matriz para definir los pesos de cada una de las variables que estructuran la fórmula propuesta. Una vez definidos los nuevos pesos de

las variables, se construirá la nueva fórmula que permitirá correr el nuevo pronóstico de riesgo de incendio forestal para cualquier área geográfica delimitada por la plataforma de cartografía de riesgo.

Una vez conformada la nueva estructura inicia la tercera etapa, la cual consiste en correr el modelo y evaluar su efectividad para predecir incendios forestales. En caso de requerirse algún cambio, se puede regresar a una etapa anterior y realizar ajustes a este. Actualmente, la infraestructura relacionada al modelo de cartografía de riesgo de incendio forestal es manejada por una empresa privada. Para desarrollar la propuesta planteada es necesario que las autoridades del ACG soliciten la transferencia de la infraestructura descrita a sus servidores, cuya administración está en manos de los técnicos y profesionales de la institución. La *Figura 21* resume el ciclo seguido con las diferentes fases que se necesitan para llevar a cabo la propuesta planteada.

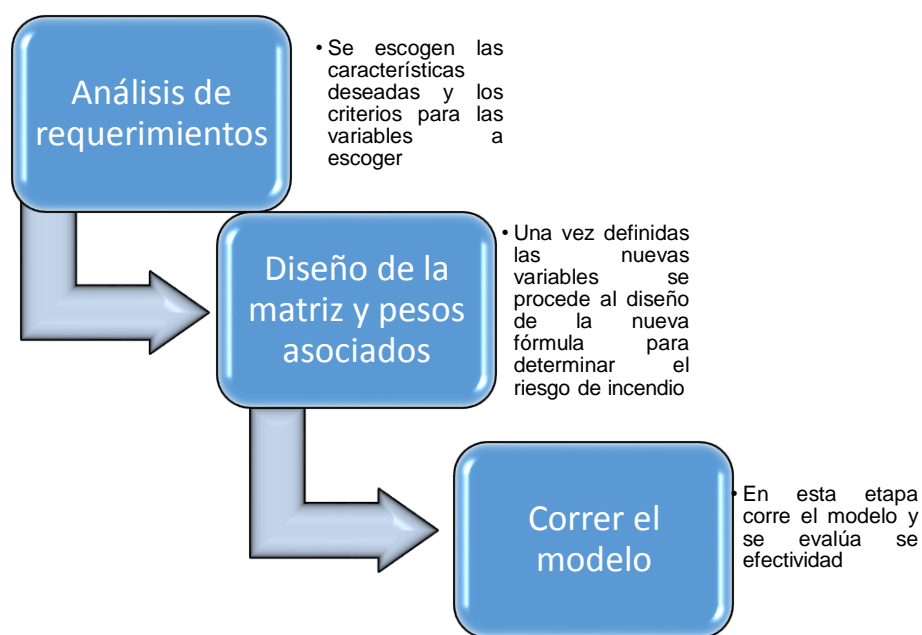


Figura 21. Etapas para desarrollar en la propuesta de modificación de la plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal. Fuente: Elaboración propia, 2019.

6.7 Gestión de riesgos

Cualquier proyecto está sujeto a una serie de situaciones e imprevistos, ya sea de carácter fortuito o de fuerza mayor, que pueden poner en riesgo su avance y operación. Por esta razón, en la planificación y en etapas iniciales de la propuesta, es conveniente citar y caracterizar cada

uno de los riesgos o eventos asociados. El Cuadro 4 resume la gestión de riesgos para la propuesta del Trabajo Final de Graduación (TFG).

Cuadro 4. Gestión de riesgos para la propuesta del trabajo final de graduación

Riesgo	Causas	Probabilidad de ocurrencia	Acción de prevención
Pérdida de información	Daño en el servidor de la empresa proveedora del servicio	Media	Respaldo de información en la nube y en otros servidores
Lentitud en el avance de la propuesta	Desinterés de los jerarcas de la institución	Baja	Propiciar en la administración la aprobación y seguimiento de las distintas etapas
Interrupción del servicio de internet	Daños físicos de la fibra óptica o equipo proveedor	Alta	Buscar red alternativa o servicio interno (intranet)
Problemas de programación de software	Defectos en complementos que requieran programación	Baja	Solicitar asesoría en programación para depurar complementos
Mala distribución y organización de elementos en aspectos internos y externos de la plataforma	No se consideró al usuario final en el diseño de la plataforma	Alta	Involucrar al usuario final en el diseño y escogencia de las variables a modificar
Requerimientos de la plataforma que no fueron tomados en cuenta en el diseño de esta	La plataforma no cumple con algún requerimiento esencial para su mejor funcionamiento	Baja	Identificar y colocar por orden de importancia los requerimientos de mayor rango que se necesitan para el óptimo funcionamiento
Servidor sin funcionamiento	Falta de fluido eléctrico por largos períodos. Ataques cibernéticos	Baja	Mantener contacto regular con proveedor del servicio.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

6.8 Recursos y presupuesto

Para llevar a cabo la propuesta, tanto en la actualización del componente visual y estructural de la plataforma de cartografía de riesgo de incendio del ACG, así como en su difusión y

socialización, es necesaria una serie de recursos de índole técnico, financiero y humanos. Al ser una plataforma disponible en línea web, es indispensable contar con una infraestructura básica pero actualizada que brinde soporte tanto en software como en hardware, así como los componentes del diseño gráfico y contenidos que permitan una lectura y comprensión clara de lo que se desea mostrar. A continuación, se describe cada uno de los recursos o insumos requeridos y su correspondiente presupuesto.

6.8.1 Hardware

En caso de que la plataforma sea administrada por el ACG, por ser información de índole oficial y con el objetivo de resguardar los datos y dar un servicio de calidad a los usuarios, se requiere un servidor con suficiente capacidad de respuesta y almacenamiento de los datos climatológicos y de riesgo de incendio forestal generados dos veces al día. Es necesario, también, discos duros de almacenamiento externo o disposición de espacio pagado en la nube para respaldo y traspaso de ficheros. Es posible que, para la transmisión de la información alojada en los servidores, se requiera contratar el servicio web con una amplia velocidad. Los servidores virtuales cambian de precio según las especificaciones como tipo de memoria, concurrencia, entre otros.

6.7.2 Software

Se requiere un sistema operativo, preferiblemente Windows Server 2019, así como la aplicación tecnológica conocida como GeoBI (Geographical Business Intelligence), que mezcla la inteligencia de negocios, los sistemas de información geográfica y la plataforma Web para generar aplicaciones como la cartografía de riesgo de incendio forestal del ACG.

6.7.3 Equipo técnico

Para la elaboración del plan de comunicación, se necesitará de equipo técnico como cámara de video y accesorios, cámara fotográfica e impresora, los cuales serán indispensables para elaborar el material para capacitaciones, los panfletos, así como videos informativos sobre la plataforma de cartografía de riesgo de incendios forestales.

6.7.4 Recurso Humano

La propuesta esta enfocada a que el ACG sea el futuro administrador de la plataforma de cartografía de riesgo de incendio forestal por el carácter público y de interés general de la información que se genera. Para esto, es necesario la contratación de un profesional desarrollador de aplicaciones web, así como de un diseñador gráfico, preferiblemente con experiencia en el ámbito de sistemas de información geográfica, ya que el componente visual de la plataforma será un elemento primordial en el rediseño de esta, lo cual puede incidir en la motivación del usuario y la estética del recurso propuesto. Asimismo, para el componente del plan de comunicación, se requiere del asesoramiento o parte de tiempo de una profesional en comunicación, el cual guiará y supervisará la información que se desplegará tanto en los panfletos informativos, videos informativos, página web, como en otros medios de comunicación.

Referencias

- Acosta, Y. (2018). Revisión teórica sobre la evolución de las teorías del aprendizaje. *Revista Vinculando*. Recuperado de <http://vinculando.org/educacion/revision-teorica-la-evolucion-las-teorias-del-aprendizaje.html>
- Adab, H., Kanniah, K., & Solaimani, K. (2013). Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Natural Hazards* 65(3), 1723-1743.
- Ainsworth, J., & Troy, A. (1995). *Natural History of Fire & Flood Cycles*. California Coastal Commission presentation to the Post- Fire Hazard Assessment Planning and Mitigation Workshop at the University of California, Santa Barbara.
- Albini, F. (1976). *Estimating wildfire behavior and effects*. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT.
- Alencar, A., Solórzano, L., & Nepstad, D. (2004). Modeling forest understory fires in an Eastern Amazonian landscape. *Ecol Appl* 14(sp4):139–149. doi:10.1890/01-6029
- Álvarez, B., & Jones, G. (2018). Dinámica de incendios en el Área de Conservación Guanacaste 1997-2017: perspectivas ecológicas para el manejo integral del fuego. *Perspectivas rurales*, 16(31), 51-70. doi: <http://doi.org/10.15359/prne.16-31.4>.
- Álvarez, Y. (2000). *Aplicación de tecnología S.I.G. al estudio del riesgo y prevención de incendios forestales en el área de Sierra Espuña - Gebas (Región de Murcia)* (Tesis de Doctorado). Universidad de Murcia, España.
- Alonso, A., Fontenla, O., Guijarro, B., Hernández, E., Paz, M., Jiménez, E., Legido, J., & Carballas, T. (2003). An intelligent system for forest fire risk prediction and fire fighting management in Galicia. *Expert Systems with Applications*, 25, 545–554.
- Amatulli, G., Rodrigues, M., Trombetti, M., & Lovreglio, R. (2006). Assessing long-term fire risk at local scale by means of decision tree technique. *Journal of Geophysics Research* 111, G04S05, doi:10.1029/2005JG000133
- Andreae, O. (1991). *Biomass Burning. Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications*. Massachusetts Institute of Technology.

- Andreae, O. & Wilgen, W. (1997). *Fire in Southern African Savannas: Ecological and Atmospheric*. Capítulo Emissions of trace gases and aerosols from Southern African savana fires, pp. 161–183. Wits University Press.
- Anguelova, Z., Stow, D., Kaiser, J., Dennison, P., & Cova, T. (2010). Integrating Fire Behavior and Pedestrian Mobility Models to Assess Potential Risk to Humans from Wildfires Within the U.S.-Mexico Border Zone. *Professional Geographer*, 62(2), 230-247. doi:10.1080/00330120903543756
- Área de Conservación Guanacaste. (ACG). (2018). *Página oficial Área de Conservación Guanacaste*. Recuperado de <https://www.acguanacaste.ac.cr/acg/que-es-el-acg>
- Área de Conservación Guanacaste. (ACG). (2019). *Base de datos de incendios forestales del Área de Conservación Guanacaste*. [base de datos]. "Datos sin procesar no publicados"
- Avila, D., Pompa, M., Antonio, X., Rodriguez, D., Vargas E., & Santillan, J. (2010) Driving factors for forest fire occurrence in Durango State of Mexico: a geospatial perspective. *Chin Geograph Sci* 20(6) 491–497. doi:10.1007/s11769-010-0437-x
- Bolaños, R., & Watson V. (1993). Mapa ecológico de Costa Rica. Centro Científico Tropical. San José, Costa Rica.
- Bonazountas, M., Kallidromitou, D., Somenos, P., & Passas, N. (2005). Forest fire risk analysis. *Hum. Ecol. Risk Assess.* 11, 617
- Barrantes, R. (2003). *Investigación: Un camino al conocimiento: Un enfoque cuantitativo y cualitativo*. San José, Costa Rica: Editorial EUNED.
- Blanco, R. (2001). El bosque seco en Mesoamérica. Informe técnico. ACG, Guanacaste, Costa Rica. 4 p.
- Bravo, H., Sosa, R., Sánchez, P., & Jaimes, M. (2004). *Incendios Forestales en México. Métodos de evaluación*. Capítulo El impacto de los incendios forestales en la calidad del aire, pp. 75–93. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Brun, C., Margalef, T., Cortés, A., & Sikora, A. (2014). Enhancing multi-model forest fire spread prediction by exploiting multi-core parallelism. *Journal Of Supercomputing*, 70(2), 721-732. doi:10.1007/s11227-014-1168-z
- Bugalho & Pessanha. (2007). The forest fire risk index (ICRIF). Operational processing and validation. Institute of Meteorology Lourdes, Portugal.
- Burgan, E., Klaver, W., & Klaver, M. (1998). Fuel models and re potential from satellite and surface observation. *International Journal of Wildland Fire*, 8, 159–170.
- Caetan, M., Carrao, H., & Freire, S. (2002). Selection of the best method for fire risk map production PREMFIRE Prevention and mitigation of forest fires in Portugal. Instituto Geografico Portugues (IGP), Portuguese Geographic Institute.
- California Environmental Protection Agency. (2009). Ambient Air Quality Standards (AAQS) for Particulate Matter.
- Calvo, J., Sánchez, A., & Portillo, C. (2013). *Neotropical Seasonally Dry Forests*. Encyclopedia of Biodiversity, 5, 488–500. doi: 10.1016/B978-0-12-384719-5.00354-3
- Carracedo, V. (2015). *Incendios forestales y gestión del fuego en Cantabria*. (Tesis de doctorado). Universidad de Cantabria, Santander, España.
- Carrao, H., Freire, S., & Caetano, R. (2003). Fire risk mapping using satellite imagery and ancillary data: Towards operationality. In: Manfred O, Guido DU, Leonidas T (eds) SPIE, pp. 154–165
- Carvalho, A., Flannigan, D., Logan, K., Miranda, I., & Borrego, C. (2008). Fire activity in Portugal and its relationship to weather and the Canadian Fire Weather Index System, *Int. J. Wildland Fire*, 17, 328–338.
- Casal, J., & Mateu, E. (2003). Tipos de Muestreo. *Rev. Epidem. Med. Prev.* 1. 3-7.
- Castro, R., & Chuvieco, E. (1998). Modeling forest fire danger from geographic information systems. *Geocarto Int*, 13(1), 15–23. doi:10.1080/10106049809354624
- Chavarría, M., & Castillo, M. (2014). Reporte Estadístico Forestal 2013. SINAC, SIREFOR, MINAE. San José.

- Cheret, V., & Denux, P. (2011). Analysis of MODIS NDVI time series to calculate indicators of mediterranean forest fire susceptibility. *GIS Remote Sensing* 48(2), 171–194. doi:10.2747/1548-1603.48.2.171
- Chou, Y., Minnich, R., & Chase, R. (1993). Mapping probability of fire occurrence in San Jacinto Mountains, California, USA. *Environmental Management*, 17, pp. 129–140.
- Chuvieco, E., M, Deshayes., N, Stach., D, Cocero., and D, Riano. (1999). Short-term fire risk: Foliage moisture content estimation from satellite data, in *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin*, edited by E. Chuvieco, Springer, New York.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Jurdao, S., Pettinari, M.L., Yebra, M., Salas, J., Hantson, S., de la Riva, J., Ibarra, P., Rodrigues, M., Echeverría, M., Azqueta, D., Román, M.V., Bastarrika, A., Martínez, S., Recondo, C., Zapico, E. & Martínez, F.J. (2012). Integrating geospatial information into fire risk assessment. *International Journal of Wildfires*, 23, pp. 606-619.
- Chuvieco, E., & Congalton, R. (1989). Application of remote sensing and geographic information system to forest fire hazard mapping. *Remote Sens Environ*, 29:147–159
- Chuvieco, E., & Justice, C. (2010). *Relations between human factors and global fire activity*. In *'Advances in Earth Observation of Global Change'*. (Eds E Chuvieco, J Li and X Yang) pp. 187–200. (Springer: Dordrecht, the Netherlands).
- Cochrane, A. (2003). Fire science for rainforests. *Nature*, 421, pp. 413-419.
- Cochrane, M.A. (2009). *Tropical Fire Ecology. Climate change, Land Use and Ecosystem dynamic*. Praxis Publishing Ltd. Chichester. UK. 696 p.
- Cochrane, A., Alencar, A., Schulze, D., Souza, M., Lefebvre, P., Nepstad, C., & Davidson, A. (1999). Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forest. *Science*, 248, pp. 1832–1835.
- Colás, M., & Buendía, L. (1998). *Investigación Educativa*. Ed. Alfar. Sevilla.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2010). *Incendios Forestales: Guía práctica para comunicadores*. (Tercera edición). San Juan de Ocotán. Zopopán, Jalisco. México. 56p.

- Comisión Nacional sobre Incendios Forestales (CONIFOR). (2014). *Estrategia Nacional de Manejo del Fuego 2012-2021*. San José.
- Comisión Nacional sobre Incendios Forestales (CONIFOR). (2012). Candidatura al premio: A la mejor labor en el campo internacional. Technical report, CONIFOR.
- De Angelis, A., Bajocco, S., & Ricotta C. (2012). Modelling the phenological niche of large fires with remotely sensed NDVI profiles. *Ecol Model* 228,106–111. Doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.01.003
- Dong, X., Li-min, D., Guo-fan, S., Lei, T., & Hui, W. (2005). Forest fire risk zone mapping from satellite images and GIS for Baihe Forestry Bureau, Jilin, China. *J For Res* 16(3) 169–174. Doi: 10.1007/bf02856809
- Erten, E., Kurgun, V., & Musaoglu, N. (2004). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS a case study. In: *Geo-imagery bridging continents*, Istanbul, Turkey, 2004. ISPRS
- Eugenio, C., Dos Santos, R., Fiedler, C., Ribeiro, A., Da Silva, G., Dos Santos, B., & Schettino, R. (2016). Applying GIS to develop a model for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. *Journal Of Environmental Management*, 17365-71. Doi: 10.1016/j.jenvman.2016.02.021
- FAO. (2007). *Fire Management Global Assessment 2006*. Rome.
- FAO. (2007). *Manejo del fuego: principios y acciones estratégicas. directrices de carácter voluntario para el manejo del fuego*. Documento de trabajo sobre el manejo del fuego no.17. Roma (disponible también en www.fao.org/forestry/site/35853/en). Technical report, FAO.
- Fensham, J., Fairfax, J., Butler, W., & Bowman, S. (2003). Effects of fire and drought in a tropical eucalypt savanna colonized by rainforest. *Journal of Biogeography*, 30, 1405–1414.
- GFIMS. (2010). *Sistema Global de Gestión de Información sobre Fuegos*. NASA, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/nr/gfims/gf-home/es/>

- Ginsberg, R. (1998). Perspectives on wildfire in the humid tropic. *Conservation Biology*, 12, 942-943.
- Gollberg, E., Neuenschwander, F., & Ryan, C. (2001). Introduction: Integrating spatial technologies and ecological principles for a new age in fire management. *International Journal of Wild Land Fire*, v. 10, 263-265. <http://dx.doi.org/10.1071/WF01047>
- Gouma, V., & Chronopoulou, S. (1998). Wildland FIRE danger zoning-A methodology. *International Journal of Wildland Fire*, 8(1), 37-43.
- Graña, M., & Duro, R. (2008). *Computational intelligence for remote sensing*. Springer, Berlin
- Grishin, M., & Fil'kov, I. (2003). A Model of Prediction of Forest Fire Hazard. *Journal Of Engineering Physics & Thermophysics*, 76(5), 1139-1144.
- Hamilton, S. (2008). *A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment 2005*. En Fire management-global assessment, FAO.
- Hardesty, J., Myers, R., & Fulks, W. (2005). Fire, Ecosystems, and People: A Preliminary Assessment of Fire as a Global Conservation Issue. *The George Wright Forum*, 22(4), 78–87.
- Hernandez, P., Arbelo, M., & Gonzalez, A. (2006). Fire risk assessment using satellite data. *Adv Space Res* 37(4),741–746. doi:10.1016/j.asr.2004.12.053
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5a ed.). México: Mc Graw Hill/Interamericana Editores.
- Illera, P., Fernandez, A., Calle, A., & Casanova, J. (1996). Temporal evolution of the NDVI as an indicator of forest re danger. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 1093–1105.
- Jaiswal R., Mukherjee, S., Raju, K., & Saxena, R. (2002). Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 4(1), 1–10. Doi: 10.1016/s0303-2434 (02) 00006-5.
- Jaiswal, R., Krishnamurthy, J., & Mukherjee, S. (2005). Regional study for mapping the natural resources prospect & problem zones using remote sensing and GIS. *Geocarto Int*, 20(3):21–31. Doi: 10.1080/10106040508542352.

- Janzen, D. (1988). *Guanacaste National Park: Tropical and cultural restoration*. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED), San José. Costa Rica.
- Janzen, D. (2002). Tropical dry forest: Area de Conservación Guanacaste, northwestern Costa Rica. In *Handbook of Ecological Restoration, Volume 2, Restoration in Practice*, eds. Perrow, M. R., Davy, A. J., Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 559- 583.
- Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation*. Mc-Graw-Hill
- Jiménez, Q., Carrillo, E., & Kappelle, M. (2016). The Northern Pacific Lowland Seasonal Dry Forest of Guanacaste and the Nicoya Península. En *Costa Rican Ecosystems*. The University of Chicago Press. Chicago.
- Joint Research Center. (2002). Pilot projects on forest fires. European Commission. <http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm?id=2080&lang=en>.2012
- Kane, J. (1998). Políticas públicas que afectan a los incendios forestales en la región africana. <http://www.fao.org/docrep/003/x2095s/x2095s0g.htm>
- Knoepp, J., DeBano, L., & Neary, D. (2005). Wildland Fire in Ecosystems. Capítulo Soil Chemistry, pp. 53–71. United States Department of Agriculture, 2005.
- Krivtsov, V., Vigy, O., Legg, C., Curt, T., Rigolot, E., Lecomte, I., Jappiot, M., Lampin, C., Fernandes, P., & Pezzatti, G. (2009). Fuel modelling in terrestrial ecosystems: an overview in the context of the development of an object-orientated database for wild fire analysis. *Ecol Model*, 220(21), 2915–2926. Doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.08.019
- Leathwick, R., & C, Briggs. (2001). Spatial prediction of wildfire hazard across New Zealand, New Zealand Fire Service Commission, Research report No. 22.
- Lee, S., Alexander, E., Hawkes, C., Lynham, J., Stocks, J., & Englefield, P. (2002). Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37(1-3), 185-198.
- Leighton, M., & Wirawan, N. (1986). Catastrophic drought and fire in Borneo tropical rain forest associated with the 1982–83 El Niño Southern Oscillations event. In *Tropical Rain Forest and the World Atmosphere*, G. Ponce (Ed.), pp. 75–102 (Washington, DC: Association for the Advancement of Science).

- Li, L., Song, W., Ma, J., & Satoh, K. (2009). Artificial neural network approach for modeling the impact of population density and weather parameters on forest fire risk. *Int J Wildland Fire*, 18(6), 640–647. Doi: <http://dx.doi.org/10.1071/WF07136>
- Li, X., Zhao, G., Yu, X., & Yu, Q. (2014). A comparison of forest fire indices for predicting fire risk in contrasting climates in China. *Natural Hazards*, 70(2), 1339-1356. Doi:10.1007/s11069-013-0877-6
- Lobo, S. (2005). *Situación y problemática de los Incendios Forestales*, Costa Rica. Recuperado de http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Manejo%20del%20Fuego/Informe_incendios_Costa_Rica_2005.pdf
- Lopez, S., Gonzalez, F., Llop, R., & Cuevas, M. (1991). An evaluation of the utility of NOAA-AVHRR images for monitoring forest res risk in Spain. *International Journal of Remote Sensing*, 12, 1841–1851.
- Manzo, I., Sánchez, C., & Alvarez, R. (2009). Assessment of seasonal forest fire risk using NOAA-AVHRR: a case study in central Mexico. *International Journal Of Remote Sensing*, 30(19), 4991-5013. Doi: 10.1080/01431160902852796.
- Mathur, R., M, Gogate., & R, Mittal. (1984). Forest fire danger rating indices based on climate. A case study of West Dehra Dun Forest Division, *Indian Forester*, 110(3), 223-241.
- Martínez, M. (2012). *Cartografía de riesgo de incendios forestales aplicando sensores remotos y SIG*. (Tesis de maestría). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. San Luis Potosí, México.
- Maselli, F., Romanelli, S., Bottai, I., & Zipoly, G. (2003). Use of NOAA-AVHRR NDVI images for the estimation of dynamic fire risk in Mediterranean areas. *Remote Sensing of Environment*, 86, 187–197.
- Masis, A. (2009). Informe de labores. Documento compilado. ACG, Guanacaste, Costa Rica. 44 p.
- Merlo, M., & Rojas, E. (2000). Public goods and externalities linked to Mediterranean forests: economic nature and policy. *Land Use Policy* 17(3),197–208. doi:10.1016/s0264-8377(00)00017-x

- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (2014). Inventario Nacional Forestal. Costa Rica 2014.
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)., Sistema Nacional de Areas de Conservación. (2013). Reporte estadístico forestal 2013.
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)., Sistema Nacional de Areas de Conservación SINAC., Comisión Nacional sobre la Gestión de la Biodiversidad (CONAGEBIO). (2013). Informe Nacional sobre el Estado de los Recursos Genéticos Forestales. Costa Rica, 2012.
- Molineros, D., & Santana, M. (2016). *Mapeo de combustibles y su caracterización en ambientes de bosques secos tropicales en el Área de Conservación Guanacaste (Costa Rica)*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. España.
- Moritz, A. (2003). Spatiotemporal analysis of controls on shrubland fire regimes: age dependency and fire hazard. *Ecology* 84, 351–361.
- Murphy, P., & Lugo, A. (1986). Ecology of Tropical Dry Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 67-88. Recuperado de <http://links.jstor.org/sici?sici=00664162%281986%2917%3C67%3AEOTDF%3E2.0.CO%3B2-Z>
- Neary, D. (2004). An overview off ire effects on soils. United States Deparment of Agriculture. Arizona.
- Neary, G., Folliott, F., & Peter, F. (2005). *Wildland Fire in Ecosystems*. Capítulo The Water Resource: Its Importance, Characteristics, and General Responses to Fire, pp. 95–103. United States Department of Agriculture.
- Obando, V. (2007). *Biodiversidad de Costa Rica en Cifras*. INbio. Santo Domingo.
- Padilla, M., & Vega, C. (2011) On the comparative importance of danger rating indices and their integration with spatial and temporal variables for predicting daily human-caused fire occurrences in Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 20, 46–58.
- Paltridge, W., & Barber, J. (1988). Monitoring grasslands dryness and re potential in Australia with NOAA/AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 25, 381–394.

- Pelizzari, A., Goncalves, R., & Caetano, M. (2008). Information extraction for forest fires management computational intelligence for remote sensing. *Computational intelligence for remote sensing*, vol 133. *Studies in computational intelligence*. 295–312. Doi:10.1007/978-3-540-79353-3_12
- Pérez, E. (2014). Implementación de un software educativo que conlleve a un aprendizaje de los fundamentos técnicos del baloncesto de los estudiantes de grado séptimo de la institución educativa Dulce Nombre de Jesús del municipio de Sincelejo (disertación doctoral). Recuperado de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/handle/123456789/436>
- Pole, K. (2009). Diseño de metodologías mixtas. Una revisión de las estrategias para combinar metodologías cuantitativas y cualitativas. *Renglones* 60, 37-42.
- Preece, J., Rogers, Y., & Sharp, H. (2015). *Interaction Design*. Glasgow, England: John Wiley and Sons.
- Puri, K., Areendran, G., Raj, K; Mazumdar, S., & Joshi, P. (2011). Forest fire risk assessment in parts of Northeast India using geospatial tools. *J For Res* 22(4), 641–647. Doi: 10.1007/s11676-011-0206-4
- Rothermel, C., Wilson, R., Morris, G., & Sckett, S. (1986). Modeling moisture content of fine dead wildland fuels: input to the BEHAVE fire prediction system. Forest Service, Intermountain Research Station, Missoula, MT.
- Rothermel, C. (1983). How to predict the spread and intensity of forest and range fires, USDA Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station, 143.
- Saglam, B., Bilgili, E., Dincdurmaz, B., Kadiogulari, A., & Kucuk, O. (2008). Spatio-temporal analysis of forest fire risk and danger using LANDSAT imagery. *Sensors*, 8(6): 3970–3987.
- Salinero, C., & Chuvieco, E. (2003). Wildland fire danger: estimation and mapping: the role of remote sensing data. World Scientific, Singapore.
- Sánchez, A., Quesada, M., Rodríguez, J., Nassar, J., Stoner, K., Castillo, A., Garvin, T., Zent, E., Calvo, J., Kalacska, M., Fajardo, L., Gamon, J., & Cuevas, P. (2005). Research

Priorities for Neotropical Dry Forests. *BIOTROPICA* 37(4): 477–485 10.1111/j.1744-7429.2005.00066.x

San Miguel, J., J, Carlson., M, Alexander., K, Tolhurst., G, Morgan., & R, Sneeuwjagt. (2003). Current methods to assess fire danger potential, in *Wildland Fire Danger Estimation and Mapping—The Role of Remote Sensing Data*, edited by E. Chuvieco, pp. 21 – 61, World Sci., River Edge, N. J.

Schettini, P., & Cortazzo, I. (2015). Análisis de datos cualitativos en la investigación social. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10915/49017>

Sebastián, A., San Miguel, J., & Burgan, R. (2002). Integration of satellite sensor data, fuel type maps and meteorological observations for evaluation of forest fire risk at the pan-European scale. *International Journal Of Remote Sensing*, 23(13), 2713-2719. Doi:10.1080/01431160110107761.

Siachalou, S., Doxani, G., & Tsakiri, M. (2009). Integrating remote sensing processing and GIS to fire risk zone mapping: a case study for the Seih-Sou forest of Thessaloniki. In: *Proceeding of ICC 2009, Santiago de Chile, 2009. Satellite imagery.*

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2012). Informe de Temporada de Incendios Forestales 2012.

Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2018). Informe Anual Estadísticas SEMEC 2017.

Sivrikaya, F., Sağlam, B., Akay, E., & Bozali, N. (2014). Evaluation of Forest Fire Risk with GIS. *Polish Journal Of Environmental Studies*, 23(1), 187-194.

Smith, J., Andres, R., Conception, E., & Lurz, J. (2004). Sulfur Dioxide Emissions.

Stocks, J., Lawson, D., Alexander, E., Van Wagner, E., McAlpine, S., Lynham, J., & Dubé, E. (1989). The Canadian Forest Fire Danger Rating System: An Overview, *Forest. Chron*, 65, 450–457.

Stolyarchuk, V. (1979). Structure of the forest fire seasons in the regions west and east of Lake Baikal, *Lesnoe-Khozyaistvo*, 7, 57-58.

- Suresh, S., Dattaraja, S., & Sukumar, R. (2010). Relationship between Annual Rainfall and Tree Mortality in a Tropical Dry Forest: Results of a 19-year Study at Mudumalai, Southern India. *Forest Ecology and Management*, 259(4-5), 762–769. Doi:10.1016/j.foreco.2009.09.025.
- Taylor, H., Trouet, V., & Skinner, N. (2008). Climatic influences on fire regimes in montane forests of the southern Cascades, California, USA. *Int J Wildland Fire* 17(1):60–71. Doi:10.1071/Wf07033.
- Ulate, R. (2012). Conductismo vs. Constructivismo: sus principales aportes en la pedagogía, el diseño curricular e instruccional en el área de las ciencias naturales. *Ensayos Pedagógicos* 7(2), 67–83.
- Valero, E., Pérez, E., Martín, P., & Herrera, M. (2007). Cálculo de las Emisiones de CO2 por los Incendios de 2006 en la Provincia de Pontevedra, Galicia. Technical report, Universidad de Vigo.
- Varela, A. (2018). *Propuesta de uso del recurso tecnológico para mejorar la mediación pedagógica en la asignatura Globalización y Ambiente del ciclo complementario del Programa de Estudios Generales de la Universidad Estatal a Distancia (UNED)*. (Tesis de maestría). Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Vargas, D. (2016). *Dinámica del paisaje en áreas afectadas por incendios forestales en el bosque seco del Area de Conservación Guanacaste*. (Tesis de licenciatura). Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica.
- Vasilakos, C., Kalabokidis, K., Hatzopoulos, J., & Matsinos, I. (2009). Identifying wildland fire ignition factors through sensitivity analysis of a neural network. *Nat Hazards*, 50(1), 125–143. Doi:10.1007/s11069-008-9326-3
- Vega-Araya, M., Hicham, A., Assali, F., & Sánchez, A. (2017). Fire risk model for informed decisions to prevent forest fires in dry forest in Costa Rica. In Fehrman, L; and Kleinn, A. and Kleinn, C., editors, Proceedings of the 6th International DAAD Workshop, 14-18. November, 2016, Santiago, Chile, pp.143-154. Cuvallier Verlag. ISBN:978-3-7369-9497-3

- Vega-Araya, M., Naranjo E., Guadamuz, D., & Díaz, J. (2015). Mapa de Combustibles en el Área de Conservación Guanacaste. Cooperación Triangular: Marruecos, Costa Rica y Alemania. Informe presentado al SINAC y GIZ.
- Vega-Araya, M. (2015). Fortalecimiento de la Estrategia Control y Protección de Incendios. San José.
- Vélez, R. (2006). El fuego en los ecosistemas forestales del mundo. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Viegas, X., Bovio, G., Ferreira, A., Nosenzo, A., & Sol, B. (1999). Comparative study of various methods of fire danger evaluation in southern Europe, *Int. J. Wildland Fire*, 10, 235–246.
- Villalobos, R., Retana, J & Acuña, A. (2000). El Niño y los incendios forestales en Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional, San José.
- Villers, L., & López, J. (2004). Incendios Forestales en México. Métodos de Evaluación. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Wenliang, L., Shixin, W., Yi, Z., Litao, W., & Shujie, Z. (2010). Analysis of forest potential fire environment based on GIS and RS. In 18th International Conference on Geoinformatics, 2010, 18–20 June 2010, pp 1–6
- Wybo, J., F, Guarnieri., & B. Richard. (1995). Forest-fire danger assessment methods and decision support. *Safety Science*, 20(1), pp. 61-70.
- Xiao, Y., Zhang, X., & Ji, P. (2015). Modeling Forest Fire Occurrences Using Count-Data Mixed Models in Qiannan Autonomous Prefecture of Guizhou Province in China. *Plos ONE*, 10(3), 1-12. Doi: 10.1371/journal.pone.0120621
- Yang, J., He, H., Shifley, S., & Gustafson, E. (2007). Spatial patterns of modern period human caused fires occurrence in the Missouri Ozark highlands. *Forest Science*, 55(1), 1-15. Doi: 10.1093/forestscience/53.1.1
- Yang, W., Gardelin, M., Olsson, J., & Bosshard, T. (2015). Multi-variable bias correction: application of forest fire risk in present and future climate in Sweden. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 15(9), 2037-2057. Doi:10.5194/nhess-15-2037-2015

Anexos

Anexo 1. Documento de aprobación de la institución



SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN
ÁREA DE CONSERVACIÓN GUANACASTE
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA



Liberia, 10 de mayo 2019

Señores: Universidad Estatal a Distancia
Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales

Por este medio, quien suscribe Cuevillas Masis Alejandro, número de cédula 108160141, en calidad de director del

Nombre de la Institución	Área de Conservación Guanacaste
Dirección	Liberia, Guanacaste
Teléfono	2666 4740
Correo electrónico	acg@acguanacaste.ac.cr

Hago constar que el señor Medina Sandoval Waldy, con número de identidad 5 0284 0875, realizará el trabajo final de graduación en esta institución durante el período 15 de mayo al 13 de diciembre 2019 en el área silvestre protegida de esta área de conservación.

Atentamente,

Digitally signed by
ALEJANDRO MASIS
CUEVILLAS (FIRMA)
Date: 2019.05.10
14:24:07 -06'00'

Alejandro Masis Cuevillas



1 / 1
Dirección: Parque Nacional Santa Rosa
Tel. Central: (506)2666-5051 exts. 106, 107
Fax: (506)2666-5020 • Apdo.: 169-5001
Guanacaste, Costa Ric.

Anexo 2. Instrumento de consulta para evaluar el modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste desde la perspectiva del funcionario del Programa de Manejo del Fuego del ACG.

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA

Sistema de Estudios de Posgrado

Maestría en Manejo de Recursos Naturales

Trabajo final de graduación

Evaluación del Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica

Instrumento de consulta para evaluar el modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste desde la perspectiva del funcionario del Programa de Manejo del Fuego del ACG

Estimado funcionario:

Como parte de mi Trabajo Final de Graduación de la Maestría en Manejo de Recursos Naturales de la UNED, estoy evaluando el Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales en el Área de Conservación Guanacaste.

Para realizar la evaluación, es importante conocer la percepción del funcionario respecto al tema. Por ello, y con el visto bueno de la dirección del ACG, se le solicita, muy atentamente, su colaboración en el llenado del cuestionario, para abordar el fenómeno con criterios sólidos y realizar la propuesta.

La información obtenida se utilizará exclusivamente para fines de la investigación y se mantendrá, en todo momento, el anonimato de los participantes y la discrecionalidad de la información.

De antemano, muchas gracias por su colaboración.

Cordialmente,

Waldy Medina Sandoval

Encabezado del formulario

Estimado(a) funcionario(a): este cuestionario tiene como propósito conocer la opinión y la percepción de los funcionarios del Programa de Manejo del Fuego del ACG con respecto al uso y utilidad del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG, con el objetivo de realizar una evaluación previa y plantear una propuesta con miras a mejorar la efectividad del modelo en la predicción de incendios forestales. Toda la información brindada será de carácter confidencial y anónimo. Los datos recolectados serán analizados exclusivamente por el investigador. Completar este instrumento resulta ágil, pues consiste, en su mayoría, en preguntas cerradas. Por eso, de antemano, se le solicita muy atentamente, completarlo en su totalidad, pues su opinión y análisis son muy valiosos para esta investigación.

Muchas gracias por la ayuda correspondiente.

1. ¿Conoce alguna herramienta tecnológica que se esté utilizando para determinar posibles sitios a ser afectados por incendios forestales? Marque con una equis.

SÍ _____ o NO _____

Si respondió SÍ, indique cuál herramienta.

2. ¿Conoce sobre la existencia del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales en el ACG?

SÍ _____ o NO _____

3. ¿Ha accedido por medio del internet a la plataforma del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG?

SÍ _____ o NO _____

4. ¿Ha utilizado la herramienta de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG?

SÍ _____ o NO _____

5. ¿Con qué frecuencia utiliza la herramienta de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG durante la temporada de incendios forestales?

- () Todos los días
- () Dos veces a la semana
- () Una vez a la semana
- () Una vez cada 15 días
- () Una vez cada mes
- () No la utiliza

6. De acuerdo a su experiencia en las labores del Programa de Manejo del Fuego, ¿cree que la herramienta de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG es de utilidad para la lucha contra los incendios forestales?

SÍ_____ NO_____

¿Por qué?

7. ¿Ha tenido algún tipo de problema cuando quiere conectarse o visualizar la herramienta en línea del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG?

SÍ_____ NO_____

Si contestó Sí, indique por qué.

8. ¿Considera que los datos meteorológicos que muestra el Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG están actualizados?

- () Siempre
- () Casi siempre
- () Algunas veces
- () Nunca

9. ¿Considera que el posicionamiento en el terreno de las patrullas de vigilancia de incendios forestales se debe a la advertencia del nivel de peligro de incendio forestal que emite el Sistema de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG?

-) Muy de acuerdo
-) De acuerdo
-) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
-) En desacuerdo
-) Muy en desacuerdo

10. ¿Ha notado algún cambio positivo en la ocurrencia de incendios forestales antes y después de la utilización del Sistema de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG?

SÍ_____ NO_____

11. ¿Considera que el uso del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG ha ayudado a reducir la afectación por incendios forestales en el área silvestre protegida y su área de influencia?

-) Muy de acuerdo
-) De acuerdo
-) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
-) En desacuerdo
-) Muy en desacuerdo

12. ¿Considera que el área promedio de afectación de un incendio forestal se ha reducido desde la aplicación del Sistema de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG?

-) Muy de acuerdo
-) De acuerdo
-) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
-) En desacuerdo
-) Muy en desacuerdo

13. ¿Considera que la variable distancia de un punto de origen de incendio a los caminos es un factor que se debe incorporar en el modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales?

SÍ_____ NO_____

14. De las variables que componen el modelo de cartografía de riesgo actual del ACG: temperatura, velocidad del viento, pendiente, combustible disponible, enumere en orden de importancia la variable que debe tener mayor peso en el modelo; donde 1 es mayor y 4 es menor.

() Temperatura

() Velocidad del viento

() Pendiente

() Combustible

15. De acuerdo a su experiencia en el combate de incendios forestales, ¿considera que existen otras variables aparte de las mencionadas en la pregunta anterior que inciden en el peligro de incendio de un sitio determinado?

SÍ_____ NO_____ Si contestó SÍ, nombre o describa esa o esas variables.

16. ¿Cree que las actividades antrópicas (hechas por el ser humano) inciden en el peligro de incendio forestal de un sitio determinado?

SÍ_____ NO_____

17. Si contestó SÍ, ¿puede dar uno o varios ejemplos de cómo puede incidir el ser humano para aumentar el riesgo de incendio de un sitio?

18. ¿Estaría de acuerdo en que el Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG incorpore en su fórmula la variable antropogénica en la detección del peligro de riesgo para un incendio forestal?

SÍ_____ NO_____

19. ¿Cuál de las siguientes variables considera que deben tener un peso en la fórmula que estructura el Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG? Puede marcar más de una.

_____ Distancia de un incendio a una carretera o camino.

_____ Actividad turística en sitios de uso público en un área silvestre protegida.

_____ Distancia de un incendio a poblados o caseríos.

_____ Distancia de un incendio a líneas eléctricas o de alta tensión.

_____ Distancia de un incendio a cultivos o áreas con ganadería.

20. Dentro del Programa de Manejo del Fuego del ACG, según su criterio personal, ¿cuál ha sido la importancia que se le ha dado al uso del Sistema de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG?

() Superior

() Alta

() Media

() Baja

() Inferior

21. Durante la temporada de incendios forestales, ¿su jefe o superior le muestra o indica el nivel de riesgo de incendio forestal para diferentes sitios una vez revisado el Sistema de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG?

SÍ_____ NO_____

22. En su trabajo como bombero forestal, ¿tiene la obligación u orden de su superior inmediato de revisar el Sistema de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG para detectar el nivel de riesgo de incendio para el día que ejerce su labor?

SÍ_____ NO_____

23. En las reuniones de personal del Programa de Manejo del Fuego se discuten temas relacionados al Sistema de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG.

() Siempre

() Casi siempre

() Algunas veces

() Nunca

24. De los siguientes enunciados, escoja cuáles, según su criterio y en orden de prioridad por medio del 1 al 5, para cuáles aspectos es útil el Sistema de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG:

- Prevenir los incendios forestales
- Conocer cuáles son las áreas más propensas a ser afectadas por incendios
- Reducir los costos operativos en el combate de incendios
- Actividades de educación
- Planificación en el tema de incendios forestales

25. ¿Considera que la plataforma web para el uso del Sistema de Cartografía de Riesgo es amigable o fácil de usar?

- Muy de acuerdo
- De acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- En desacuerdo
- Muy en desacuerdo

26. ¿Cree que la plataforma web del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG se debe mejorar?

- Muy de acuerdo
- De acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- En desacuerdo
- Muy en desacuerdo

27. ¿Cuál o cuáles aspectos de la plataforma web del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG se deben mejorar?

Anexo 3. Instrumento de consulta para evaluar el modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste desde la perspectiva del funcionario del ACG.

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
Sistema de Estudios de Posgrado
Maestría en Manejo de Recursos Naturales
Trabajo final de graduación

Evaluación del Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica

Instrumento de consulta para evaluar el modelo de cartografía de riesgo de incendios forestales en el Área de Conservación Guanacaste desde la perspectiva del funcionario del ACG.

Estimado funcionario:

Como parte de mi Trabajo Final de Graduación de la Maestría en Manejo de Recursos Naturales de la UNED, estoy evaluando el Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales en el Área de Conservación Guanacaste.

Para realizar la evaluación, es importante conocer la percepción del funcionario respecto al tema, por ello, y con el visto bueno de la dirección del ACG, se le solicita, muy atentamente, su colaboración en el llenado del cuestionario, para abordar con criterios sólidos el fenómeno y realizar la propuesta.

La información obtenida se utilizará exclusivamente para fines de la investigación y se mantendrá el anonimato de los participantes y la discrecionalidad de la información en todo momento.

De antemano, muchas gracias por su colaboración.

Cordialmente,

Waldy Medina Sandoval

Encabezado del formulario

Estimado(a) funcionario(a): este cuestionario tiene como propósito conocer la opinión y percepción de los funcionarios del ACG con respecto al uso y utilidad del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG, con el objetivo de realizar una evaluación previa y plantear una propuesta con miras a mejorar la efectividad del modelo en la predicción de incendios forestales. Toda la información brindada será de carácter confidencial y anónimo. Los datos recolectados serán analizados exclusivamente por el investigador. Completar este instrumento resulta ágil, pues consiste, en su mayoría en preguntas cerradas. Por eso, de antemano, se le solicita muy atentamente, completarlo en su totalidad, pues su opinión y análisis son muy valiosa para esta investigación.

Muchas gracias por la ayuda correspondiente

Instrucciones: seguidamente, se le presenta una serie de preguntas con el objetivo de determinar su conocimiento y percepción sobre la herramienta sistema de cartografía de riesgo de incendios forestales. Lea con atención cada pregunta y conteste de la manera que mejor se ajuste a su conocimiento. No hay preguntas malas o buenas, siéntase en libertad de expresar su opinión personal, sus respuestas no serán dadas a conocer individualmente.

1. ¿Ha sido capacitado en el curso básico de bombero forestal o comando de incidentes?

SÍ _____ NO _____ Si contesto SÍ, ¿en cuál?

_____ Curso básico de bombero forestal

_____ Curso Comando de incidentes

2. ¿Ha participado en alguna actividad relacionada con el combate de incendios forestales? Marque con una equis:

SÍ ____ o NO _____

Si _____ marcó SÍ, indique qué tipo de actividad desempeñó: _____

3. ¿Conoce usted alguna herramienta tecnológica que se esté utilizando para determinar posibles sitios a ser afectados por incendios forestales? Marque con una equis.

SÍ _____ o NO _____

4. ¿Ha escuchado sobre la existencia del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales en el ACG?

SÍ _____ o NO _____

5. ¿Ha accedido por medio del sitio web la plataforma del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG?

SÍ _____ o NO _____

6. ¿Ha utilizado la herramienta de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG?

SÍ _____ o NO _____

7. Según su criterio, ¿cómo valora el diseño de la plataforma digital del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG?

Muy sencillo _____ 1 _____ 2 _____ 3 _____ 4 _____ 5 Muy complicado

8. ¿Considera que la plataforma web para el uso del Sistema de Cartografía de Riesgo es amigable con el usuario?

- () Muy de acuerdo
- () De acuerdo
- () Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- () En desacuerdo
- () Muy en desacuerdo

9. ¿Cree que la herramienta de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG es de utilidad para la lucha contra los incendios forestales?

SÍ _____ NO _____ Si contestó SÍ, ¿por qué?

10. De los siguientes enunciados, escoja cuáles, según su criterio y en orden de prioridad, siendo 1 el más importante, cuál es el principal objetivo del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG.

- Para prevenir los incendios forestales
- Para saber cuáles son las áreas más propensas a ser afectadas por incendios
- Para reducir los costos operativos en el combate de incendios
- Para actividades de educación
- Para la planificación en el tema de incendios forestales

11. ¿Considera que el uso del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG ha ayudado a reducir la afectación por incendios forestales en el área silvestre protegida y su área de influencia?

- Muy de acuerdo
- De acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- En desacuerdo
- Muy en desacuerdo

12. ¿Cree que la plataforma web del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG se debe mejorar?

- Muy de acuerdo
- De acuerdo
- Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- En desacuerdo
- Muy en desacuerdo

13. ¿Cuál o cuáles aspectos de la plataforma web del Sistema de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG se debe mejorar?

14. ¿Cree que las actividades antrópicas (hechas por el ser humano) inciden en el peligro de incendio forestal de un sitio determinado?

SÍ _____ NO _____

15. Si contestó SÍ, ¿puede dar uno o varios ejemplos de cómo puede incidir el ser humano para aumentar el riesgo de incendio de un sitio?

16. ¿Estaría de acuerdo en que el Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG incorpore en su fórmula la variable antropogénica en la detección del peligro de riesgo para un incendio forestal?

SÍ _____ NO _____

17. ¿Cuál de las siguientes variables considera que deben tener un peso en la fórmula que estructura el Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG? Puede marcar más de una.

_____ Distancia de un incendio a una carretera o camino.

_____ Actividad turística en sitios de uso público en un área silvestre protegida.

_____ Distancia de un incendio a poblados o caseríos.

_____ Distancia de un incendio a líneas eléctricas o de alta tensión.

_____ Distancia de un incendio a cultivos o áreas con ganadería.

18. En las reuniones de Comité Técnico del ACG, se discuten temas relacionados al Sistema de Cartografía de Riesgo de incendios forestales del ACG.

() Siempre

() Casi siempre

() Algunas veces

() Nunca

|

Anexo 4. Nombre y afiliaciones de los expertos consultados para realizar una evaluación multicriterio con el objetivo de determinar si las variables propuestas en la modificación del modelo de cartografía de riesgo de incendio tienen incidencia en el riesgo de ignición de un incendio.

Julio Díaz Orias: Encargado del Programa de Manejo del Fuego del ACG

Didi Guadamuz Eras: Asistente y bombero forestal del Programa de Manejo del Fuego del ACG

Sergio Cascante: Asistente y bombero forestal del Programa de Manejo del Fuego del ACG

Junior López: Asistente y bombero forestal del Programa de Manejo del Fuego del ACG

Anexo 5. Entrevista semiestructurada a meteorólogo del Instituto Meteorológico Nacional.

Entrevista a Meteorólogo del Instituto Meteorológico Nacional (IMN).

1. ¿Podría hablarme un poco acerca de las principales variables meteorológicas que inciden en el peligro de ignición para un incendio forestal?

2. Desde su experiencia, ¿podría describir los principales factores ambientales que afectan la ignición, la intensidad del incendio y la velocidad de propagación de los incendios forestales en el ACG?

3. ¿Cuáles de las variables anteriores considera que incide más en el peligro de incendio en el Área de Conservación Guanacaste?

4. ¿Podría explicar de qué forma la topografía puede modificar la dirección y la velocidad del viento? ¿Cómo afectaría esta variable en el ACG?

5. Según los modelos meteorológicos, ¿cuáles son las predicciones para el Pacífico Norte de Costa Rica en relación al pronóstico del clima y su relación con los incendios forestales?

6. Desde el punto de vista meteorológico, ¿cómo adaptaría el Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG considerando las condiciones geográficas y climáticas del ACG?

7. Como profesional en meteorología, ¿cree que incorporando la variable antropogénica en el índice que riesgo de incendio forestal podría aumentar las probabilidades de acertar dónde se puede originar un incendio forestal?

8. ¿Qué recursos tecnológicos adicionales se pueden proponer para mejorar la exactitud del modelo actual de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG?

9. Ante la carencia de un sistema operativo y totalmente automatizado para la evaluación diaria de riesgo, ¿cree que el modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales del ACG se podría extender a otras regiones de Costa Rica con el fin de desarrollar acciones de prevención y extinción de incendios forestales con la mayor eficacia posible?

10. En conclusión, ¿podría realizar el siguiente ejercicio que consiste en la asignación de pesos a cada variable. El rango va desde 0, siendo este el menor peso, hasta 10, el de mayor peso.

Variables Descrpción	Alternativas	
	Peso A	Peso B
Factor 1 Temperatura		
Factor 2 Aspecto del terreno		
Factor 3 Pendiente del terreno		
Factor 4 Velocidad del viento		
Factor 5 Dirección del viento		
Factor 6 Combustible disponible		
Factor 7 Distancia de punto de ignición a caminos		
Factor 8 Distancia de punto de ignición a poblados		
Factor 9 Distancia de punto de ignición a zonas de cultivo o ganaderas		
Factor 10 Actividad turística en zonas de uso público en ASP		

Anexo 6. Carta de filóloga

2 de marzo del 2020

Señores
Escuela de Ciencias Exactas y Naturales
Sistema de Estudios de Posgrado
Maestría Profesional en Manejo de Recursos Naturales
Universidad Estatal a Distancia
Presente

Estimados señores:

La suscrita da fe de que la tesis titulada “Evaluación del Modelo de Cartografía de Riesgo de Incendios Forestales en el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica”, del estudiante Waldy Medina Sandoval, fue sometida a revisión filológica.

Se han realizado las modificaciones pertinentes en los distintos niveles textuales, a saber, macro y microestructura, intención comunicativa, coherencia y cohesión, puntuación y ortografía.



M.L. Laura Casasa Núñez
Filóloga
Colegiada No. 25950
Cédula 1-946-164