

AVANCES Y EXPERIENCIAS

EN LA GESTIÓN REGIONAL DE

INCENDIOS FORESTALES

Geraldine Margarita Pomares Meza
Manuel Guillermo Pérez Pérez
Yiniva Camargo Caicedo
Editores



Avances y experiencias en la gestión regional de incendios forestales

Geraldine Margarita Pomares Meza
Manuel Guillermo Pérez Pérez
Yiniva Camargo Caicedo
Editores



GRUPO DE INVESTIGACIÓN
EN MODELACIÓN
DE SISTEMAS AMBIENTALES
UNIMAGDALENA



Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Camargo Caicedo, Yiniva, autor

Avances y experiencias en la gestión regional de incendios forestales / Tionhonkélé Drissa Soro [y otros ocho] ; editores, Geraldine Margarita Pomares Meza, Manuel Guillermo Pérez Pérez, Yiniva Camargo Caicedo. -- Primera edición. -- Bogotá : Sképsi, 2025.

1 recurso en línea: PDF.

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye referencias bibliográficas de los autores y editores.

ISBN 978-958-746-892-2 (pdf) -- 978-958-746-893-9 (epub) -- 978-958-746-891-5 (IBD)

1. Prevención de incendios forestales - Investigaciones - Magdalena 2. Protección de bosques - Magdalena 3. Prevención de desastres - Investigaciones - Magdalena 4. Protección del medio ambiente - Magdalena I. Vélez Pereira, Andrés II. Bolaño Díaz, Sindy, autora III. Bolaño Ortiz, Tomás, autor IV. Hani Cusse, Jorge, autor V. Drissa Soro, Tionhonkélé, autor VI. Pomares Meza, Geraldine, autora VII. Pérez Pérez, Manuel, autor VIII. Castrillo Borja, Tailin, autora

CDD: 363.3790724086116 ed. 23

CO-BoBN- a1156480

Primera edición, agosto de 2025

2025 © Universidad del Magdalena. Derechos Reservados.

Editorial Unimagdalena

Calle 29H3 n.º 22-01

Edificio de Innovación y Emprendimiento

(57 - 605) 4381000 Ext. 1888

Santa Marta D.T.C.H. - Colombia

editorial@unimagdalena.edu.co

<https://editorial.unimagdalena.edu.co>

Rector: Pablo Vera Salazar

Vicerrector de Investigación: Jorge Enrique Elías-Caro

Coordinadora de Publicaciones y Fomento Editorial: Angélica María Cortes Martínez

Diseño editorial: Luis Felipe Márquez Lora

Diagramación: Jeynner Kevin Páez Vélez

Diseño de portada: Tailín Castrillo Borja

Revisión de estilo: Ricardo Adrián Tete Mielez

Santa Marta, Colombia, 2025

ISBN: 978-958-746-892-2 (pdf)

ISBN: 978-958-746-893-9 (epub)

ISBN: 978-958-746-891-5 (IBD)

DOI: <https://doi.org/10.21676/9789587468922>

Hecho en Colombia - Made in Colombia

La UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA, en su calidad de editora y titular de derechos patrimoniales de autor, y en su propósito de contribuir con la difusión y divulgación del conocimiento, la producción intelectual y la educación, dispone autorizar la reproducción impresa así como su distribución, reproducción digital y puesta a disposición de la totalidad o parte del presente libro de manera libre y gratuita, en tanto se mantenga la integridad del texto y se dé la correspondiente cita a sus autores y mención institucional. No se autoriza la realización de versiones derivadas ni traducciones o adaptaciones. Queda prohibida la comercialización o venta a cualquier título de este material.



Las opiniones expresadas en esta obra son responsabilidad de los autores y no comprometen al pensamiento institucional de la Universidad del Magdalena, ni generan responsabilidad frente a terceros.

Investigadora principal

Yiniva Camargo Caicedo. Ingeniera Química, especialista en Ingeniería de Saneamiento Ambiental, magíster en Tecnología Ambiental y doctora (c) en Ciencias Ambientales. Docente de la Universidad del Magdalena y líder del Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA).

Coinvestigadores

Andrés Vélez Pereira. Ingeniero Ambiental y Sanitario, especialista en Gestión Ambiental, magíster en Tecnología Ambiental, doctor en Ciencia y Tecnología Ambientales. Coinvestigador del Grupo GIMSA.

Sindy Bolaño Díaz. Ingeniera Ambiental y Sanitaria y magíster en Cambio Climático Carbono y Recursos Hídricos. Docente de la Universidad del Magdalena y coinvestigadora del Grupo GIMSA.

Tomás Bolaño Ortiz. Ingeniero Ambiental y Sanitario, magíster en Tecnología Ambiental y doctor en Ingeniería mención Civil-Ambiental. Coinvestigador del Grupo GIMSA.

Asesores técnicos

Jorge Hani Cusse. Ingeniero Químico y jefe de oficina Laboratorio Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG).

Tionhonkélé Drissa Soro. Doctor en Ecología y magíster en Biodiversidad y Gestión Sostenible de los Ecosistemas. Docente e investigador en la Universidad Félix Houphouët-Boigny.

Ayudantes de investigación

Geraldine Pomares Meza. Estudiante de pregrado del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena y semillerista del Grupo GIMSA.

Manuel Pérez Pérez. Estudiante de pregrado del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena y semillerista del Grupo GIMSA.

Tailin Castrillo Borja. Estudiante de pregrado del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena y semillerista del Grupo GIMSA.

Proyecto: Caracterización de biomas potencialmente en riesgo de incendios forestales durante eventos climáticos extremos en el departamento del Magdalena, Colombia

Agradecimientos

Los autores extienden su agradecimiento a la Universidad Católica del Maule (UCM), en Talca, Chile; a la Universidad de Tarapacá (UTA), en Arica, Chile, y a la Universidad Félix Houphouët-Boigny, en Abiyán, Costa de Marfil, por su aporte de conocimiento especializado y recursos humanos y tecnológicos para fortalecer la capacidad técnica e instalada del presente proyecto desde el inicio.

Asimismo, destacamos el rol desempeñado por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena (CORPAMAG) durante la planeación y ejecución de las actividades de campo. Esta alianza institucional fue esencial para garantizar la viabilidad operativa del trabajo en el territorio.

Finalmente, expresamos nuestro reconocimiento y gratitud al Fondo FONCIENCIAS de la Universidad del Magdalena, cuyo financiamiento hizo posible la ejecución integral de esta propuesta.

Contenido

Prólogo	9
Introducción.....	15

Ecología del fuego

Detección de focos de incendios en Costa de Marfil y estimación de las emisiones de GEI procedentes de la quema de biomasa en el contexto de la gestión de incendios ...	20
<i>Tionhonkélé Drissa Soro</i>	

Herramientas para el monitoreo de incendios forestales

Análisis multianual de puntos de calor y densidad del fuego para la identificación del riesgo municipal a incendios en el departamento del Magdalena	32
<i>Yiniva Camargo Caicedo, Sindy Bolaño-Díaz, Manuel G. Pérez-Pérez, Geraldine M. Pomares-Meza</i>	

DSS-FIRE: Sistema abierto para el monitoreo de incendios forestales y apoyo a la toma de decisiones en contextos de riesgo climático.....	41
<i>Alexander Ariza, Juan Carlos Villagrán</i>	

Gestión de incendios forestales

Incorporación del enfoque del manejo integral del fuego en la gestión de incendios forestales en la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres	50
<i>María J. Páez-Díaz, Geraldine Moreno Niño, Marcos E. Quiroga-Palacio, María C. Meza-Elizalde</i>	

Reducción de albedo en nieve y aumento de temperatura asociados a emisiones de carbono negro y carbono orgánico de las quemadas de biomasa en la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia (2001-2024).....	54
<i>Tomás R. Bolaño-Ortiz, Fredy A. Tovar-Bernal, Magín Lapuerta, Eduardo D. Fontanilla-Amaya</i>	
Reducción y prevención de incendios forestales	
Información que conecta: estrategias de Ojos para el Maule para hacer de la prevención de incendios forestales, parte del día a día	62
<i>Carmen L. Bravo-Castillo, Cristian Bobadilla-Bustos, Claudio Fredes-Monsalve</i>	
Comunidades comprometidas con la conservación de los ecosistemas de manglar en VIPIS	68
<i>Vera Márquez-Barceló, Luis Delgado Domínguez, Olga Rangel Corrales, Margarita Estrada Santana</i>	
Los cuatro elementos y el fuego	76
<i>Juanita Londoño, Angie Yepes</i>	
Los autores.....	90

Prólogo

Avances y experiencias en la gestión regional de incendios forestales es un libro de compilación resultado de actividades de divulgación pública de la ciencia, que recolecta las experiencias en investigación y gestión compartidas durante la realización del «Simposio Regional para la Gestión de Incendios Forestales», que reunió a entidades de orden nacional y regional, académicos y organizaciones sin ánimo de lucro promotoras de restauración ecológica, en ocasión del evento de divulgación llevado a cabo en el marco del proyecto «Caracterización de biomas potencialmente en riesgo de incendios forestales durante eventos climáticos extremos en el departamento del Magdalena, Colombia», liderado por el Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA) y financiado por el Fondo de investigación FONCIENCIAS, dentro de la convocatoria interna para financiación de proyectos de investigación aplicada y de desarrollo experimental en la Universidad del Magdalena.

En el eje temático «Ecología del fuego» se presentan resúmenes extendidos de trabajos expuestos que trataron sobre la interacción entre el fuego y los ecosistemas. La ecología del fuego como disciplina supone un cambio de paradigma contra la visión reduccionista que concibe al fuego únicamente como disruptivo, reforzando una lógica de externalidad que se extiende tanto al fenómeno como a sus actores, dificultando su reconocimiento como parte legítima de la dinámica ecológica (Preiti, 2022). Según Gowlett (2016), el fuego natural —causado principalmente por rayos— era un fenómeno recurrente en los hábitats abiertos que comenzaron a ser ocupados por los homínidos hace millones de años. Estos primeros encuentros con el fuego permitieron que se aprovecharan recursos expuestos por incendios, como animales pequeños y raíces parcialmente cocidas, lo que even-

tualmente influyó en la adaptación biológica (Timmermann *et al.*, 2024). Con la introducción del uso antropogénico del fuego se produjo una dicotomía en cuanto a sus impactos significativos, los cuales se han intensificado con las décadas: la fragmentación del hábitat en contextos de planificación urbana y expansión de la frontera agrícola ha reducido el número y tamaño de incendios naturales; mientras que las igniciones humanas en áreas urbanas y rurales han aumentado en frecuencia, especialmente en la interfaz urbano-forestal (Pausas, 2012). En ese sentido, este eje invitó a entender este fenómeno no como un evento inminentemente aislado, sino como un proceso interactivo cuyos efectos —y, por extensión, respuestas— varían de acuerdo con las características del entorno ecológico donde sucede, que incluyen, por supuesto, la intervención humana.

En el eje temático «Herramientas para el monitoreo de incendios forestales» se comparten las experiencias académicas que tributan a la conformación de un marco técnico-científico para el manejo del fuego. Jain *et al.* (2020) identifica seis problemas de estudio principales dentro de la ciencia del fuego a la fecha: a) caracterización del combustible, detección de incendios y mapeo, b) influencia del cambio climático en incendios, c) ocurrencia del fuego, susceptibilidad y riesgo, d) predicción del comportamiento del fuego, e) efectos del fuego y f) gestión de incendios. Ahora bien, aunque se cuenta con aportes significativos a la solución de cada uno de los mencionados, aún existen ciertas barreras que dificultan la integración efectiva de la ciencia del fuego en la gestión de incendios forestales.

De acuerdo con Hunter *et al.* (2020), estas barreras incluyen factores institucionales, como políticas existentes y obstáculos burocráticos, falta de recursos, capacidad técnica y conflictos entre los hallazgos científicos y las políticas organizacionales. Para superar estas limitaciones, estos autores destacan la importancia de las denominadas «organizaciones intermediarias» (*boundary organizations*) y de los procesos colaborativos de investigación, que actúan como puentes que facilitan la traducción del conocimiento científico a formatos aplicables en

decisiones operativas y puntualizan el éxito de algunas de ellas en la integración entre la ciencia del fuego y la gestión de incendios, como el *Joint Fire Science Program (JFSP)*, en Estados Unidos. A nivel regional, la Red Latinoamericana de Teledetección de Incendios Forestales (RedLATIF) es un ejemplo de red de colaboración investigativa, puesto que integra a expertos de variados sectores y países, facilitando el intercambio de datos, información y metodologías para la investigación en incendios forestales, lo que no solo ha permitido la unificación de las herramientas para el monitoreo, sino también la consolidación de la red como referente regional en la teledetección de incendios forestales, a propósito de su participación en el proyecto Global Observation of Forest and Land Cover Dynamics (GOFC-GOLD) (López, 2013). Por lo tanto, el eje temático «Herramientas para el monitoreo de incendios forestales» buscó aportar cimientos a estas colaboraciones investigativas mediante el desarrollo y la circulación de conocimiento técnico-científico que permitiese el fortalecimiento de las capacidades locales, de modo que la ciencia abierta se ponga al servicio de la gestión del riesgo y permita decisiones más informadas, oportunas y contextualizadas frente a los incendios forestales.

En el eje temático «Gestión de incendios forestales» se exploran las respuestas a incendios forestales desde distintos niveles de gobierno. El marco legal en Colombia para la gestión de incendios forestales se encuentra fundamentado principalmente en la Ley 1523 de 2012, que establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) y regula los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres (Castañeda-Quinchia, 2020). A partir de esta reglamentación, se publica en 2023 el documento titulado *Protocolo Nacional de Respuesta ante Incendios Forestales*, cuyo énfasis corresponde a la reducción de vulnerabilidades y a la planificación territorial con enfoque *top-down*, de modo que exige a los municipios incorporar la gestión del riesgo en sus instrumentos de ordenamiento territorial (POT), incluyendo todas sus etapas, desde la preparación —con especial atención a la identificación de vulnerabilidades socioambientales— hasta la respuesta coordinada

entre entidades (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre [UNGRD], 2023). Pese a lo anterior, su aplicabilidad enfrenta obstáculos como la falta de capacidades técnicas locales y recursos insuficientes para implementar medidas preventivas. De modo que este eje temático permitió el surgimiento de reflexiones en torno a los logros y desafíos en gestión de incendios forestales por parte de los actores invitados del SNGRD.

Finalmente, en el eje temático «Reducción y prevención de incendios forestales» se incluyeron las iniciativas puestas en marcha desde el liderazgo de comunidades afectadas de manera recurrente por incendios forestales. En esta sección se destaca el papel en la gestión de incendios de los actores en las áreas protegidas, donde la articulación entre protocolos institucionales y el conocimiento local de las comunidades ofrecen resultados de aprendizaje valiosos. Estas experiencias muestran el potencial de integrar acciones como la zonificación de amenazas y el uso controlado del fuego en actividades productivas, junto con herramientas como el monitoreo satelital para la identificación temprana de focos de calor. En este contexto, se ha reconocido que la supresión total del fuego no es una estrategia adecuada frente a la complejidad de estos socioecosistemas; por el contrario, se propone un manejo mixto, que combina el uso estratégico del fuego en zonas de riesgo, su exclusión en áreas sensibles y el control de fuentes de ignición (Quiroga-Palacio y Santiago-Villa, 2019). Esta perspectiva se complementa con enfoques integrados que posicionan a los miembros de las comunidades como agentes activos en el manejo del fuego, lejos del enfoque pasivo, que los limita únicamente a la recepción y adopción de políticas. Sobre esto, Meza-Elizalde y Bejarano (2023) señalan cinco acciones de la ruta del manejo integral del fuego (MIF) dirigida a las comunidades: a) convivir con el fuego, b) usarlo adecuadamente en sistemas productivos, c) promover la educación ambiental, d) fomentar la corresponsabilidad en su control y e) conservar las áreas afectadas. Por tanto, este último eje recoge experiencias que exhiben cómo las comunidades, desde sus territorios, han impulsado procesos de restauración ecológica y educación ambiental

como estrategias para la disminución de la vulnerabilidad frente a los incendios forestales.

Referencias

- Castañeda-Quinchia, D. E. (2020). *Lineamientos simplificados para la elaboración del plan de gestión del riesgo municipal enfocado en incendios forestales*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Universidad Distrital: <http://hdl.handle.net/11349/23151>
- Gowlett, J. A. (2016). The discovery of fire by humans: A long and convoluted process. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696), 20150164. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0164>
- Hunter, M. E., Colavito, M. M. y Wright, V. (2020). The Use of Science in Wildland Fire Management: A Review of Barriers and Facilitators. *Current Forestry Reports*, 6(4), 354-367. <https://doi.org/10.1007/s40725-020-00127-2>
- Jain, P., Coogan, S. C. P., Subramanian, S. G., Crowley, M., Taylor, S. y Flannigan, M. D. (2020). A review of machine learning applications in wildfire science and management. *Environmental Reviews*, 28(4), 478-505. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0019>
- López, M. I. (2013). Una década de trabajo conjunto: 10 años de RedLatif. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 13(2), 1-9, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5055857>
- Meza-Elizalde, M. C. y Bejarano, L. H. (2023). Percepción comunitaria frente al manejo integral del fuego y la gestión de incendios forestales: Caso de estudio de la zona de campesina de Sumapaz. En D. Armenteras Pascual (Ed.), Bogotá: *La paradoja del fuego: Del contexto internacional al caso de Colombia* (pp. 106-129). Universidad Nacional de Colombia.

- Pausas, J. G. (2012). *Incendios forestales: Una visión desde la ecología*. Libros Catarata. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2102.21-3.20>
- Preiti, F. J. (2022). Marco epistemológico para abordar conflictos sociales en torno de los incendios en el Delta del río Paraná (año 2020). *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 25(1), 121-140. <https://doi.org/10.36677/qret.v25i1.17611>
- Quiroga-Palacio, M. E. y Santiago-Villa, H. M. (2019). Manejo del fuego como alternativa frente a los incendios forestales. El caso del Parque Entrenubes. *Ambiente y Desarrollo*, 23(45) <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd23-45.mfaf>
- Timmermann, A., Raia, P., Mondanaro, A., Zollikofer, C. P., Ponce de León, M., Zeller, E., Yun, K.S. (2024). Past climate change effects on human evolution. *Nature Reviews Earth Environment*, 5(10), 701-716. <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00584-4>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD. (2023). *Protocolo Nacional de Respuesta ante Incendios Forestales*. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Protocolo-Nacional-de-Respuesta-ante-Incendios-Forestales.pdf>

Introducción

En el marco del proyecto denominado «Caracterización de biomas potencialmente en riesgo de incendios forestales durante eventos climáticos extremos en el departamento del Magdalena, Colombia», financiado por el fondo de investigación Fonciencias, se presenta el libro *Avances y experiencias en la gestión regional de incendios forestales*. Aquí se incluyen las contribuciones científicas, sociales y comunitarias relacionadas estrechamente con los incendios forestales. El intercambio de conocimientos en materia de gestión integral de este fenómeno parte desde el ámbito internacional y termina en la interacción regional con factores como los ecosistemas, la meteorología y la contaminación, trascendiendo fronteras entre regiones y modelos político-administrativos. En este sentido, ampliar la perspectiva de los incendios basado en diferentes enfoques de trabajo se convierte en el objetivo principal, trazando una línea de trabajo multidisciplinaria con participación de entidades públicas, como universidades, grupos de investigación y entidades adscritas al Gobierno tanto de orden nacional como local; y privadas, como organizaciones dedicadas a la conservación, ya sean o no con ánimo de lucro.

Esta compilación está enmarcada en los estudios, experiencias y resultados principales relacionados con los incendios forestales y su impacto en las regiones, ecosistemas y sociedades. Además, considera las investigaciones que tratan sobre incendios y la gestión integral que se lleva a cabo en distintos entornos, entre ellos, las realizadas en Costa de Marfil, al occidente de África; en Chile y Colombia, más específicamente la región Caribe y en el departamento del Magdalena. Estos lugares han sido epicentro de distintos casos

de incendios forestales, siendo un campo de estudio crucial para el desarrollo de la ciencia.

En este orden de ideas, *Avances y experiencias en la gestión regional de incendios forestales* compila el conocimiento sobre el comportamiento del fuego y su interacción con el ambiente y los ecosistemas desde distintos frentes de trabajo. Aborda la ecología del fuego, siendo esta una temática de vital importancia, dado que modifica la función de los ecosistemas y ejerce cambios significativos en la flora y fauna. Asimismo, se revisa el monitoreo de incendios forestales mediante el uso de diferentes herramientas, lo cual provee una base fundamental para entender la dinámica de los incendios y sus afectaciones a nivel geográfico, ecosistémico y social, debido a que se puede obtener información relevante sobre estos y su distribución a nivel tanto espacial como temporal, y el papel de las comunidades con relación a este fenómeno.

Por otra parte, la gestión de incendios forestales está compuesta por actividades con diferentes enfoques: la gobernanza del riesgo que preside en el fuego y sus principales efectos, la generación y apropiación social del conocimiento, el desarrollo de protocolos específicos y herramientas funcionales, el fortalecimiento institucional y la formación de las comunidades en temáticas asociadas a los incendios. De modo que la prevención y reducción de incendios forestales supone el aspecto que más trabajo requiere, dado que en él confluyen varios actores, dentro de los cuales juegan un rol fundamental las comunidades. Más allá de las herramientas técnicas proporcionadas por la academia, aquí se prefiere la adopción de criterios más empíricos para diseñar medidas que unifiquen esfuerzos en la reducción del índice de incendios. Estas medidas suelen estar relacionadas con la educación ambiental, la comunicación integral con las comunidades, la participación ciudadana, la vigilancia activa y la generación de conocimiento.

El presente texto alude al compromiso que debe existir por parte de las diferentes entidades y actores en relación con los incendios forestales y sus causas y consecuencias, así como las acciones que deben

implementar para su gestión. Su construcción se caracteriza por presentar la realidad actual de los incendios forestales desde diferentes cosmovisiones, alternando los saberes y experiencias desde el componente científico, social y ambiental. Además, insta al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU, en particular el número 13: Acción por el clima, el número 15: Vida de ecosistemas terrestres, y el número 17: Alianza para lograr los objetivos, en la medida que se conocen las principales acciones que se llevan a cabo desde la ciencia para la protección de los ecosistemas, como la identificación de zonas de riesgo y de patrones climáticos para el conocimiento de las principales épocas donde se pueden presentar riesgo de incendios, o la cuantificación de la contaminación producida por efecto del fuego. Desde el componente social y ambiental, se ejecutan actividades en aras del cumplimiento de estos objetivos, como la relación entre asociaciones y comunidades para adelantar acciones de preservación y restauración de zonas afectadas por los incendios de coberturas vegetales, tales como zonas incluidas dentro de la jurisdicción de parques nacionales y ecosistemas específicos, por medio de la formación de voluntarios para la atención de episodios de riesgo en diferentes zonas, entre otras actividades destacadas.

El conjunto de conocimientos recopilados en esta obra refleja tanto el trabajo realizado en materia de incendios forestales a nivel internacional, nacional y local como los logros en el manejo de la problemática del fuego. Desde las obras realizadas por y para las comunidades como medio de reducción del riesgo asociado a los incendios, garantizando el bienestar de los ecosistemas y las personas, hasta la importancia que tienen las entidades gubernamentales para la gestión de los incendios forestales como potencial riesgo de desastres. Se suscita a profundizar en los estudios y las acciones encaminadas hacia la reducción de los incendios forestales, el desarrollo de nuevas herramientas que permitan el monitoreo del comportamiento del fuego a nivel espacial y temporal, la ejecución de actividades de mayor impacto en las comunidades, el aumento de estudios asociados a los incendios y su influencia en diferentes ámbitos y acciones

encaminadas a la preservación y restauración de áreas afectadas, permitiendo aumentar la protección de los ecosistemas y las comunidades, quienes son los más afectados por este fenómeno, mediante la optimización de procesos de toma de decisiones para la reducción del riesgo asociado a los incendios forestales.

Se resaltan las contribuciones de todos los participantes de diferentes zonas del mundo y de Colombia, al igual que la importancia que tiene conocer sus perspectivas sobre los incendios y sus interacciones con los impactos asociados. Con esto se busca visibilizar el impacto de los incendios forestales a nivel regional, los avances en su gestión y su relación con la ciencia, el ambiente y la sociedad.

Ecología del fuego

DetECCIÓN DE FOCOS DE INCENDIOS EN COSTA DE MARFIL Y ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI PROCEDENTES DE LA QUEMA DE BIOMASA EN EL CONTEXTO DE LA GESTIÓN DE INCENDIOS

Tionhonkélé Drissa Soro¹

Introducción

El fuego está reconocido como un factor ecológico clave y una herramienta de gestión de los ecosistemas terrestres (Li *et al.*, 2023). Sin embargo, la quema de biomasa se ha vuelto más frecuente y generalizada en todo el mundo, mientras que sigue siendo difícil predecir dónde y cuándo se producirán incendios extremos (Joseph *et al.*, 2019). Su incidencia es elevada en el África tropical en general, especialmente en países de África Occidental como Costa de Marfil (N'Datchoh *et al.*, 2015; Soro *et al.*, 2021).

En África Occidental, uno de los centros mundiales de quema, la quema de biomasa sigue el cambio estacional impulsado por la migración norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Este fenómeno climático produce la alternancia de estaciones húmedas y secas durante un año (Swap *et al.*, 2002). Las estaciones húmedas permiten la producción de biomasa que arde durante las estaciones secas. Esta estacionalidad influye en las características del

1. Universidad Félix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Laboratoire des milieux naturels et conservation de la biodiversité, Costa de Marfil. Correo electrónico: soro.tionhonkele@ufhb.edu.ci

combustible y en los parámetros del fuego (Govender *et al.*, 2006; N'Dri *et al.*, 2021).

Como el clima influye en la quema de biomasa, las quemas también influyen en el clima al emitir gases de efecto invernadero y aerosoles (Tiémoko *et al.*, 2021; Tian *et al.*, 2023), considerados como un grave problema de contaminación ambiental. La quema de biomasa es conocida como una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) (Russell-Smith *et al.*, 2021). Y esas emisiones debidas a las quemas frecuentes deben estimarse con fines de mitigación y gestión.

El objetivo de este estudio fue identificar los principales focos de incendios en Costa de Marfil y estimar las emisiones de GEI derivadas de la quema de biomasa en estos focos. Los resultados ayudarán a los gestores de incendios y a los responsables de la toma de decisiones a mejorar las estrategias de gestión de incendios en los focos de incendios y a mitigar las emisiones de GEI contra la contaminación ambiental. Esto encaja bien con el objetivo del «Simposio Regional sobre Gestión de Incendios Forestales», celebrado por el Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA), en la Universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia).

Palabras clave: quema de biomasa, MODIS, puntos calientes de incendios, densidad de incendios, emisiones de GEI.

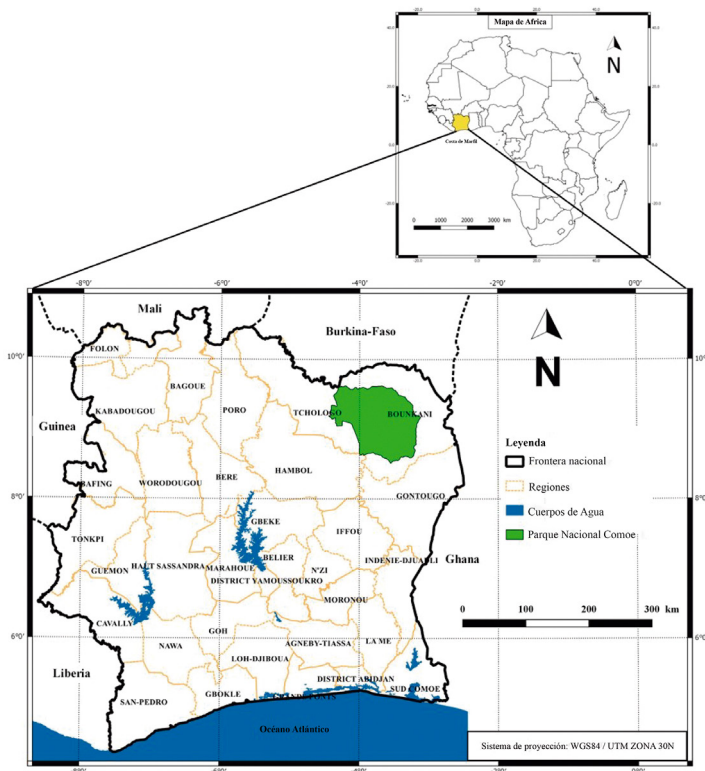
Materiales y métodos

Como se detalla en Soro *et al.* (2021), los datos de incendios activos utilizados proceden de imágenes MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) y son proporcionados por el *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). El instrumento MODIS está equipado con los satélites Terra y Aqua, que proporcionan observaciones de la superficie terrestre cuatro veces al día: a las

10:30 y 22:30 para Terra, y a las 13:30 y 01:30 para Aqua (las horas corresponden a Costa de Marfil).

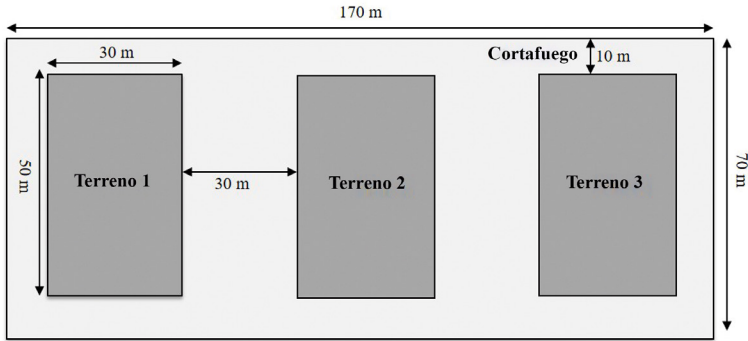
Los datos MODIS originales eran productos diarios de incendios con resoluciones espaciales completas de 1 km (hasta 2010), 500 m (entre 2010 y 2015) y 375 m (en 2016). Dado que estos productos de incendios eran inmanejablemente grandes para ser utilizados en su totalidad, se trazaron en cuadrículas fijas de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ de tamaño en las que se realizaron recuentos de incendios (Giglio, 2015). Los datos mensuales de ocurrencia de incendios están disponibles para su descarga en formato shapefile (.shp) y pueden utilizarse en un entorno del Sistema de Información Geográfica (SIG).

Figura 1. Localización de la zona de estudio en África Occidental



Los datos abarcaban todo el territorio de Costa de Marfil (Figura 1). Los datos adquiridos se procesaron en el programa QGIS para cartografiar la distribución espacial de los incendios. Los focos de incendio se identificaron según la clasificación de densidad de incendios. Conceptualmente, la densidad de incendios se define como el número de píxeles de incendios por cada 1.000 hectáreas (ha) detectados durante un periodo de tiempo determinado (Grégoire y Simonetti, 2010).

Figura 2. Montaje experimental del fuego



La quema experimental se llevó a cabo en 2022, en el Parque Nacional de Comoe, en la región de Bounkani (Figura 1), una de las regiones con mayor densidad de incendios. El montaje experimental (Figura 2) se instaló en tres lugares de la sabana arbustiva. En cada uno de ellos, el montaje incluía tres parcelas de 50 m × 30 m, separadas por una distancia de 30 m y rodeadas por un cortafuegos de 10 m. Las quemas tuvieron lugar en enero, el mes de mayor incidencia de incendios. Antes de la quema, se tomaron muestras aleatorias de biomasa en cada parcela en cinco cuadrículas de 1 m². Según las directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para los inventarios nacionales de GEI (Aalde *et al.*, 2006), las emisiones se calcularon principalmente para el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y los óxidos de nitrógeno (NO_x).

Resultados

El número medio de incendios activos MODIS fue de 1.279 ± 95 . La región de Gboklé (sur) registró el menor número de incendios (78 ± 11), mientras que el mayor número (6.047 ± 335) se observó en la región de Bounkani (noreste). Además, las regiones de Bounkani, Tchologo, Hambol y Gontougo (en el noreste), Kabadougou, Bafing, Worodougou, Folon y Tonkpi (en el noroeste), Poro (en el norte), Gbêkê, Béré y Béliér (en el centro) registraron un número de incendios superior a la media. Esto significa una alta incidencia de incendios en esas regiones.

Según la clasificación de la densidad de incendios (Figura 3), las regiones con una densidad de incendios muy alta fueron Folon, Kabadougou, Béré, Worodougou y Bafing (noroeste), Bounkani, Hambol y Tchologo (noreste), Gbêkê, Béliér (centro).

Figura 3. Clasificación de las regiones según la densidad de incendios (densidad de incendios: $\times 10^{-3}$ incendios \times km⁻² \times año⁻¹)

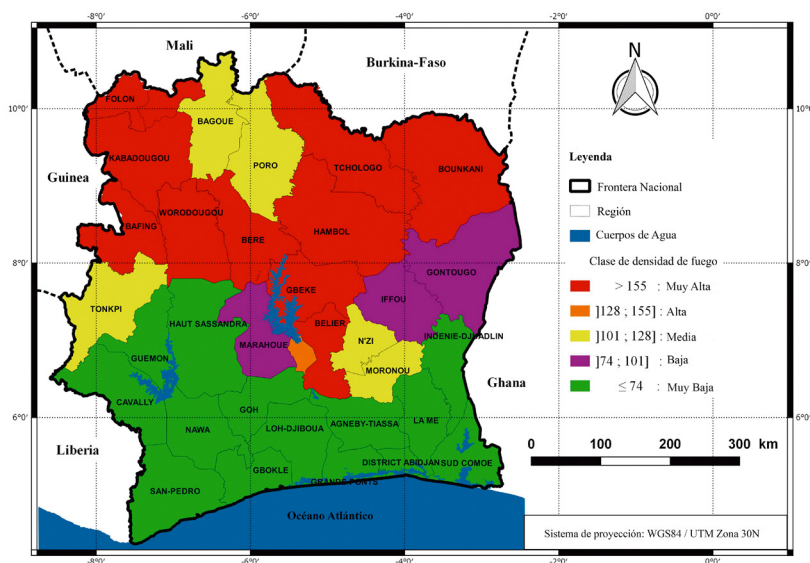
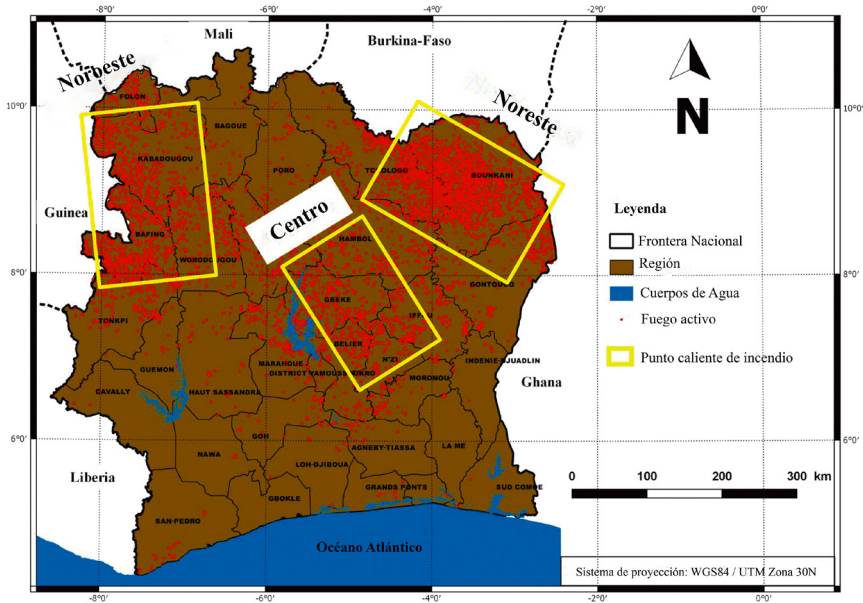
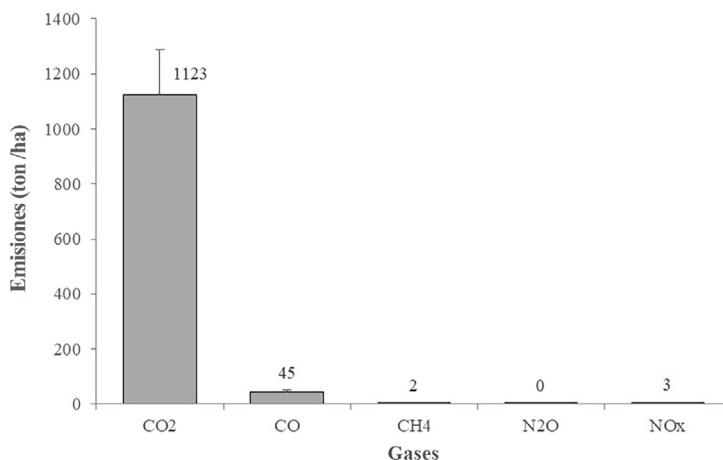


Figura 4. Mapa de distribución espacial de los incendios en el que se muestran los focos



Así pues, se identificaron tres focos principales de incendios entre $2^{\circ}30' - 8^{\circ}30' O$ y $7^{\circ}00' - 10^{\circ}30' N$ en las zonas noroeste, noreste y centro de Costa de Marfil (Figura 4), todas ellas dominadas por ecosistemas de sabana. En estas zonas, las regiones de Bafing (noroeste), Bounkani y Hambol (noreste) registraron la mayor actividad de incendios, con una densidad de $0,4 \pm 0,02$, $0,28 \pm 0,02$ y $0,18 \pm 0,01$ incendios $\times km^{-2} \times año$, respectivamente. El pico de ocurrencia se observó en enero, mientras que la temporada de incendios se extendió de octubre a abril, con un 91 % de los incendios anuales ocurridos durante tres meses (diciembre, enero y febrero).

Figura 5. Emisiones de GEI provenientes de quemas de biomasa en el Parque Nacional de Comoe (Costa de Marfil)



En la región de Bounkani, una de las de mayor densidad de incendios, el dióxido de carbono (CO₂) fue el más emitido durante los incendios, mientras que el óxido nitroso (N₂O) fue el menos emitido dentro de los gases estimados. En términos de abundancia, al CO₂ le siguieron el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el metano (CH₄). En efecto, el valor de CO₂ (1.123 toneladas × ha⁻¹) fue el más elevado en comparación con los de CO (45 toneladas × ha⁻¹), CH₄ (1,6 toneladas × ha⁻¹), N₂O (0,15 toneladas × ha⁻¹) y NO_x (2,71 toneladas × ha⁻¹). Así, el 96 % de las emisiones de gases procedentes de la combustión de biomasa fueron de CO₂, mientras que alrededor del 4 % fueron de CO (Figura 5). En cuanto a NO_x (0,23 %), CH₄ (0,14 %) y N₂O (0,01 %), sus porcentajes respectivos fueron muy bajos (<1 %).

Conclusiones

En todo el país se identificaron tres focos principales de incendios (zonas de muy alta densidad de incendios) situados en el noroeste, el noreste y el centro. También se clasificaron las regiones con baja,

media y alta incidencia de incendios. A pesar de la duración estacional de siete meses, el estudio señala los meses de diciembre, enero y febrero, durante los cuales se producen casi todos los incendios estacionales. Las regiones con alta y muy alta densidad de incendios pueden considerarse prioritarias en los programas de gestión de incendios, especialmente en un contexto de recursos materiales, financieros y humanos limitados.

El CO₂, un gas de efecto invernadero, fue el gas más emitido por la quema de biomasa. Por lo tanto, los focos de incendios que arden con mayor frecuencia también están expuestos a la contaminación ambiental, ya que los GEI pueden afectar más a un clima ya de por sí cambiante, contribuyendo así al calentamiento global. La mitigación de las emisiones de GEI procedentes de la quema de biomasa requiere una mejor gestión de los incendios en los principales focos.

Referencias

- Aalde, H., Gonzalez, P., Gytarsky, M., Krug, T., Kurz, W. A., Lasco, R. D., Martino, D. L., McConkey, B. G., Ogle, S., Paustian, K., Raison, J., Ravindranath, N. H., Schoene, D., Smith, P., Somogyi, Z., van Amstel, A. y Verchot, L. (2006). Agriculture, foresterie et autres affectations des terres : Méthodologies génériques applicables à diverses catégories d'affectations des terres. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, y K. Tanabe (Eds.), *Lignes directives du Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre* (pp. 26-97). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Giglio, L. (2015). MODIS Collection 6 active fire product user's guide revision A. <https://modis-fire.umd.edu/guides.html>
- Govender, N., Trollope, W. S. y Wilgen, B. W. (2006). The effects of fire season, fire frequency, rainfall and management on fire intensity in savanna vegetation in South Africa. *Journal of Applied Ecology*, 43(4), 748-758. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01184.x>

- Grégoire, J. M. y Simonetti, D. (2010). Interannual changes of fire activity in the protected areas of the SUN Network and other parks and reserves of the West and Central Africa region derived from MODIS observations. *Remote Sensing*, 2(2), 446-463. <https://doi.org/10.3390/rs2020446>
- Joseph, M. B., Rossi, M. W., Mietkiewicz, N. P., Mahood, A. L., Cattau, M. E., St. Denis, L. A., Nagy, R. C., Iglesias, V., Abatzoglou, J. T. y Balch, J. K. (2019). Spatiotemporal prediction of wildfire extremes with Bayesian finite sample maxima. *Ecological Applications*, 29(6), e01898. <https://doi.org/10.1002/eap.1898>
- Li, T., Cui, L., Liu, L., Chen, Y., Liu, H., Song, X. y Xu, Z. (2023). Advances in the study of global forest wildfires. *Journal of Soils Sediments*, 23, 2654-2668. <https://doi.org/10.1007/s11368-023-03533-8>
- N'Datchoh, E. T., Konaré, A., Diedhiou, A., Diawara, A., Quansah, E. y Assamoi, P. (2015). Effects of climate variability on savannah fire regimes in West Africa. *Earth System Dynamics*, 6(1), 161-174. <http://dx.doi.org/10.5194/esd-6-161-2015>
- N'Dri, A. B., Kpré, A. J. N., Kpangba, K. P., Soro, T. D., Kouassi, K. V., Koffi, K. F., Kouamé, Y. A. G., Koffi, A. B. y Konan, L. N. (2021). Experimental Study of Fire Behavior in Annually Burned Humid Savanna of West Africa in the Context of Bush Encroachment. En W. L. Filho, R. Pretorius, y L. O. De Sousa (Eds.), *Sustainable Development in Africa: Fostering Sustainability in one of the World's Most Promising Continents* (pp. 491-505). World Sustainability Series, Springer.
- Russell-Smith, J., Yates, C., Vernooij, R., Eames, T., van der Werf, G., Ribeiro, N., Edwards, A., Beatty, R., Lekoko, O., Mafoko, J., Monagle, C. y Johnston, S. (2021). Opportunities and challenges for savanna burning emissions abatement in Southern Africa. *Journal of Environmental Management*, 288, 112414. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112414>

- Soro, T. D., Koné, M., N'Dri A. B. y N'Datchoh, E. T. (2021). Identified main fire hotspots and seasons in Côte d'Ivoire (West Africa) using MODIS fire data. *South African Journal of Science*, 117(1-2), 1-13. <https://doi.org/10.17159/sajs.2021/7659>
- Swap, R. J., Annegarn, H. J., Suttles, J. T., Haywood, J., Helmlinger, M. C., Hely, C., Hobbs, P. V., Holben, B. N., Ji, J., King, M. D., Landmann, T., Maenhaut, W., Otter, L., Pak, B., Piketh, S. J., Platnick, S., Privette, J., Roy, D., Thompson, A. M., Ward, D. y Yokelson, R., (2002). The Southern African regional science initiative (SAFARI 2000): overview of the dry season field campaign. *South African Journal of Science*, 98(41337), 125-130. https://scholarworks.umt.edu/chem_pubs/7
- Tian, C., Yue, X., Zhu, J., Liao, H., Yang, Y., Chen, L., Zhou, X., Lei, Y., Zhou, H. y Cao, Y., (2023). Projections of fire emissions and the consequent impacts on air quality under 1.5 °C and 2 °C global warming. *Environmental Pollution*, 323, 121311. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121311>
- Tiémoko, D. T., Ramonet, M., Yoroba, F., Kouassi, K. B., Kouadio, K., Kazan, V., Kaizer, C., Truong, F., Vuillemin, C., Delmotte, M., Wastine, B. y Ciais, P., (2021). Analysis of the temporal variability of CO₂, CH₄ and CO concentrations at Lamto, West Africa. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 73(1), 1-24. <https://doi.org/10.1080/16000889.2020.1863707>

Herramientas para el monitoreo de incendios forestales

Análisis multianual de puntos de calor y densidad del fuego para la identificación del riesgo municipal a incendios en el departamento del Magdalena

Yiniva Camargo Caicedo², Sindy Bolaño-Díaz³,
Manuel G. Pérez-Pérez⁴, Geraldine M. Pomares-Meza⁵

Introducción

Los incendios forestales son considerados un fenómeno que produce perturbaciones sobre diferentes ámbitos, desde el social hasta el ecológico y económico. En Colombia, dentro de las últimas dos décadas se han evidenciado focos significativos superiores a 25.000 detecciones anuales con áreas quemadas relacionadas que alcanzan las 2.521.762 hectáreas quemadas, cuya ocurrencia sucede especialmente dentro de la principal estación seca, entre los meses diciembre y marzo (Armenteras, 2022; Armenteras-Pascual *et al.*, 2011).

2. Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: ycamargo@unimagdalena.edu.co.

3. Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: sbolanod@unimagdalena.edu.co.

4. Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: manuelperezg@unimagdalena.edu.co.

5. Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA), Facultad de Ingeniería, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: geraldinepomaresmm@unimagdalena.edu.co.

La delimitación de la densidad del fuego es una variable fundamental para el manejo integral y la prevención de incendios forestales. En contextos de generación de conocimiento para la planeación territorial, la clasificación municipal del riesgo a incendios forestales constituye una herramienta clave para el monitoreo de estos eventos, permitiendo la implementación de estrategias específicas de prevención y mitigación. Como línea base, el uso de bases de datos provenientes de sensores remotos y su análisis geoespacial ha sido destacado en trabajos que buscan un monitoreo dinámico del riesgo. Estos sistemas permiten actualizar continuamente los índices de riesgo en función de cambios climáticos o socioeconómicos (Kolanek *et al.*, 2021).

Estas metodologías emplean técnicas como los métodos de densidad Kernel para convertir datos discretos de puntos de calor acumulados en índices continuos de densidad, permitiendo identificar patrones espaciales específicos de presencia de incendios y relacionarlos con factores como la densidad poblacional y el uso del suelo (Bergonse *et al.*, 2023; González-Olabarria *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2019).

Desde los organismos e instituciones de orden nacional, se han desarrollado acciones encaminadas hacia la gestión de incendios forestales. Las políticas públicas para la reducción de las condiciones de riesgo de desastres y para el control de la deforestación destacan aspectos relevantes de los incendios y los asocian con la variabilidad climática. El Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y el Plan Nacional de Prevención, Control de Incendios Forestales y Restauración de Áreas Afectadas de Colombia establecen los lineamientos en relación con las áreas afectadas por incendios, mitigando su impacto y fortaleciendo las alianzas interinstitucionales (Ministerio del Ambiente [MinAmbiente], 2002; UNGRD, 2023). En el Magdalena, dentro su plan de cambio climático, se abordan medidas para fortalecer a las instituciones y la restauración del bosque seco; sin embargo, no existe un plan enfocado hacia la gestión de incendios forestales o un sistema de monitoreo que permita ejecutar un seguimiento al comportamiento del fuego y llevar a cabo estrategias efectivas de mitigación.

Palabras clave: incendios forestales, densidad del fuego, puntos de calor, regiones homogéneas, riesgo municipal.

Materiales y métodos

Los datos para el análisis de puntos de calor a nivel departamental se obtuvieron a partir de la serie, comprendida entre los años 2001 y 2023, del producto de anomalías térmicas (MOD14A1.061) del sensor MODIS, proporcionado por FIRMS-NASA. Este producto del sensor es relevante para la detección de puntos de calor dentro de un área geográfica específica como aproximación a la ocurrencia del fuego (Fusco *et al.*, 2019). Su resolución espacial es de 1 km y su resolución temporal es diaria (Giglio *et al.*, 2021). Para descartar falsas alarmas o confusiones con la reflectancia de cuerpos de agua, se seleccionaron detecciones de incendios con confianza igual o mayor al 98 %.

De la agregación de las anomalías térmicas se deriva el cálculo de la densidad del fuego, seleccionado como método para la identificación de áreas de riesgo de incendio, en términos de distribución de eventos por área definida por un periodo determinado de tiempo, generalmente establecido por $\text{km}^{-2} \text{año}^{-1}$.

A partir de lo anterior, se definieron regiones homogéneas dentro del área de estudio, aplicando estadísticas de agrupamiento entre entidades con valores altos o bajos, ampliamente empleadas en investigaciones con productos de fuego de MODIS para identificar regiones geográficas estadísticamente significativas en el comportamiento del fuego, diferenciando entre diferentes zonas según la intensidad, la extensión o la frecuencia (Jamal *et al.*, 2021).

Mediante la prueba General de Getis-Ord G_i^* , se determinó la capacidad de agrupamiento según la densidad del fuego y, posteriormente, se utilizó el algoritmo Partition Around Medoids (PAM) de agrupamiento no supervisado para establecer las regiones homogéneas de densidad del fuego, según las municipalidades del departamento. Se corrieron escenarios de tres a cinco clústeres, tomando como referente las regionalizaciones climáticas propuestas por Pomares-Meza *et al.* (2024),

que establecieron cinco regiones homogéneas de precipitación estrechamente ligadas a la orografía, y Manrique-Cantillo *et al.* (2024), que definieron tres regiones homogéneas de temperatura con configuraciones espaciales consistentes. Considerando que ambas variables son determinantes en la propagación del fuego (Zhang *et al.*, 2024), se procedió bajo la asunción de que la clasificación de las regiones según la densidad de fuego respondería a una lógica análoga.

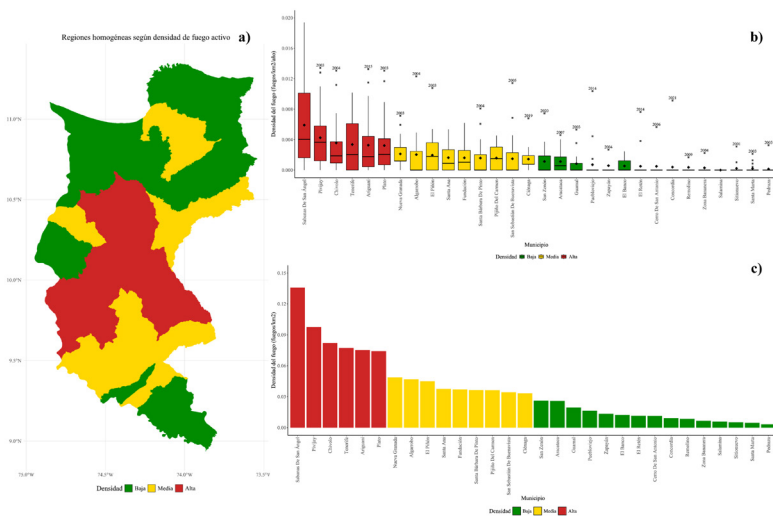
Resultados

En la Figura 1 se evidencian los resultados de la distribución de los fuegos activos por municipio para el departamento del Magdalena durante el periodo 2001-2023. Durante el periodo de estudio se identificaron 987 puntos calientes con un nivel de confianza igual o superior al 98 %, lo que equivale al 3,44 % del total de puntos calientes con el mencionado nivel de confianza detectados en Colombia en el mismo periodo, pese a que la superficie del departamento corresponde a aproximadamente apenas un 0,20 % de la superficie total del país (Cerón *et al.*, 2007). El municipio de Sabanas de San Ángel registró el mayor número de puntos calientes (168 puntos), representando el 17,12 % del total, seguido de Pivijay (160 puntos) y Ariguaní (85 puntos), con contribuciones del 16,31 % y un 8,62 %, respectivamente; el 57,95 % restante se distribuyó entre 26 municipalidades y el distrito de Santa Marta. Concordia fue el municipio que registró menor número de puntos calientes, con un único punto identificado a lo largo de todo el periodo de estudio.

La densidad de fuego promedio en el departamento del Magdalena fue $1,55 \times 10^{-3} \pm 2,72 \times 10^{-3}$ fuegos $\text{km}^{-2} \text{año}^{-1}$, lo que sugiere una distribución espacial altamente variable. Por lo tanto, se decidió realizar una clasificación de la superficie mediante un análisis de agrupamiento no supervisado, basado en los resultados del estadístico G General de Getis-Ord G_i^* , tanto en el acumulado como la densidad de fuego interanual (Figura 2), que indican una tendencia al agrupamiento espacial de los municipios de acuerdo con esta variable.

fuegos $\text{km}^{-2} \text{año}^{-1}$, respectivamente. Teniendo en cuenta los resultados expuestos por Bolaño-Díaz *et al.* (2022), el departamento posee un promedio superior al reportado para todo el país, pero inferior al reportado para la región Caribe. No obstante, la zona homogénea de alta densidad de fuego, que comprende los municipios de Sabanas de San Ángel, Pivijay, Chivolo, Tenerife, Ariguaní y Plato, obtuvo una densidad promedio superior a la de la región, que, de acuerdo con el mismo estudio, es la tercera región natural del país más propensa al fuego.

Figura 3. Clasificación de los municipios del departamento del Magdalena según densidad de puntos calientes (2001-2023)



a) Regiones homogéneas de densidad del fuego; b) Distribución municipal de la densidad del fuego; c) Variación anual de la densidad del fuego por municipio.

De esta zona homogénea, el municipio de Sabanas de San Ángel obtuvo la mayor densidad promedio ($5,90 \times 10^{-3}$ fuegos $\text{km}^{-2} \text{año}^{-1}$), seguido por los municipios de Pivijay ($4,25 \times 10^{-3}$ fuegos $\text{km}^{-2} \text{año}^{-1}$) y Chivolo ($3,57 \times 10^{-3}$ fuegos $\text{km}^{-2} \text{año}^{-1}$), por lo que se catalogó la subzona que comprende estos tres municipios como zona *Hotspot*. En la Figura 3b se observa una tendencia temporal, ya que, en 13 de las

24 municipalidades con anomalías positivas, estas ocurrieron durante el periodo 2003-2004. Asimismo, se observa que, individualmente, todos los municipios dentro de las zonas homogéneas de alta y media densidad del fuego superan la densidad de fuego acumulada promedio en todo el departamento ($3,59 \times 10^{-2}$ fuegos km^{-2}).

Conclusiones

El análisis de puntos calientes y densidad del fuego en el departamento del Magdalena en el periodo 2001-2023 develó patrones espaciales relevantes en la ocurrencia de incendios forestales. Se identificaron 987, distribuidos en la superficie del área de estudio, que comprende el 3,44 % del total de incendios detectados a nivel nacional, los cuales se encuentran agrupados en municipios como Pivijay, Sabanas de San ángel y Ariguaní; a nivel temporal, la mayoría de los municipios presentaron puntos calientes durante el periodo de estudio. A través de la clasificación de regiones homogéneas del fuego, se identificaron zonas de densidad del fuego (alta, media y baja) en los cuales se registraron densidades por encima del promedio departamental en los municipios de Sabanas de San Ángel, Pivijay y Chivolo. Estos resultados establecen una base para el desarrollo de estrategias a nivel del territorio por parte de las instituciones departamentales y municipales para la prevención y mitigación de incendios forestales.

Referencias

Armenteras, D. (2022). Cambios en los patrones espaciales de área quemada en Colombia, ¿qué ha pasado en las dos primeras décadas del siglo XXI? *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(178), 248-260. https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/cambios_en_los_patrones_espaciales_de_area_quemada_en_colombia_q

- Armenteras-Pascual, D., Retana-Alumbrosos, J., Molowny-Horas, R., Roman-Cuesta, R. M., González-Alonso, F. y Morales-Rivas, M. (2011). Characterising fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 279-289. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.11.002>
- Bergonse, R., Oliveira, S., Zêzere, J. L., Moreira, F., Ribeiro, P. F., Leal, M. y Leal, J. M. (2023). Differentiating Fire Regimes and Their Biophysical Drivers in Central Portugal. *Fire*, 6(3), 112. <https://doi.org/10.3390/fire6030112>
- Bolaño-Díaz, S., Camargo-Caicedo, Y., Soro, T. D., N'Dri, A. B. y Bolaño-Ortiz, T. R. (2022). Spatio-Temporal Characterization of Fire Using MODIS Data (2000-2020) in Colombia. *Fire*, 5(5), 134. <https://doi.org/10.3390/fire5050134>
- Cerón, J. F., Kellogg, J. N. y Ojeda, G. Y. (2007). Basement configuration of the northwestern south America - Caribbean margin from recent geophysical data. *CT&F Ciencia, Tecnología y Futuro*, 3(3), 25-49. <https://ctyf.journal.ecopetrol.com.co/index.php/ctyf/article/view/474/259>
- Fusco, E. J., Finn, J. T., Abatzoglou, J. T., Balch, J. K., Dadashi, S. y Bradley, B. A. (2019). Detection rates and biases of fire observations from MODIS and agency reports in the conterminous United States. *Remote Sensing of Environment*, 220, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.028>
- Giglio, L., Schroeder, W., Hall, J. y Justice, C. (2021). *MODIS Active Fire and Burned Area Products—Active Fires*. <https://modis-fire.umd.edu/af.html>
- González-Olabarria, J. R., Mola-Yudego, B. y Coll, L. (2015). Different Factors for Different Causes: Analysis of the Spatial Aggregations of Fire Ignitions in Catalonia (Spain). *Risk Analysis*, 35(7), 1197-1209. <https://doi.org/10.1111/risa.12339>
- Jamal, S., Bappy, T. H. y Shahariar, A. K. (2021). Brazilian Forest Fire Analysis: An Unsupervised Approach. En S. Borah, R. Pradhan, N. Dey, P. Gupta (Eds.), *Soft Computing Techniques and Applications* (pp. 423-435). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7394-1_40

- Kolanek, A., Szymanowski, M. y Raczyk, A. (2021). Human Activity Affects Forest Fires: The Impact of Anthropogenic Factors on the Density of Forest Fires in Poland. *Forests*, 12(6), 728. <https://doi.org/10.3390/f12060728>
- Ministerio de Ambiente (MinAmbiente) (2002). *Plan Nacional de Prevención, Control de Incendios Forestales y Restauración de Áreas Afectadas de Colombia*. https://archivo.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Los-Incendios-Forestales/554_plan_prevencion_incendios.pdf
- Pomares-Meza, G. M., Camargo Caicedo, Y. y Vélez-Pereira, A. M. (2024). Long-Term Spatiotemporal Analysis of Precipitation Trends with Implications of ENSO-Driven Variability in the Department of Magdalena, Colombia. *Water*, 16(23), 3372. <https://doi.org/10.3390/w16233372>
- Santos, J. F., Tetto, A. F., Bertacchi, A., Batista, A. C. y Soares, R. V. (2019). Comparison of Forest Fire Profiles in Londrina, Brazil and Pisa, Italy. *Floresta e Ambiente*, 26(2), e20170607. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.060717>
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2023). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres* (2.ª ed.). <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Plan-Nacional-de-Gestion-del-Riesgo.aspx>
- Zhang, Y., Lim, H. S., Hu, C. y Zhang, R. (2024). Spatiotemporal dynamics of forest fires in the context of climate change: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33305-x>

DSS-FIRE: Sistema abierto para el monitoreo de incendios forestales y apoyo a la toma de decisiones en contextos de riesgo climático

Alexander Ariza⁶, Juan Carlos Villagrán⁷

Introducción

En las últimas décadas, los incendios forestales han aumentado globalmente en extensión y severidad. Europa y Sudamérica han vivido temporadas de fuego récord en amplitud e intensidad. Estas condiciones extremas, impulsadas por las actividades humanas y las temperaturas más altas y sequías vinculadas al cambio climático, provocan incendios altamente destructivos, de rápida propagación y comportamiento impredecible (Field *et al.*, 2015). La creciente frecuencia de incendios severos supera a menudo la capacidad de respuesta local, causando graves impactos en la biodiversidad, los ecosistemas y las comunidades.

En este contexto, el monitoreo del impacto de daño de incendios mediante sensores remotos y herramientas en la nube como GEE (Google Earth Engine) se vuelve fundamental. Evaluar en terreno la extensión e impacto de un incendio demanda muchos recursos y tiempo, mientras que las imágenes satelitales permiten cubrir grandes áreas de forma ágil y con buena precisión (Flores-Rodríguez *et al.*, 2020). Numerosas investigaciones demuestran que la teledetección es

6. Ph. D. en Tecnologías de Información Geográfica, Alemania. Correo electrónico: aariza@ucm.edu.co

7. Jefe de la Oficina de ONU-SPIDER en Bonn, Alemania. Correo electrónico: juan-carlos.villagran@un.org

una herramienta eficaz para mapear áreas quemadas y estimar el nivel de daño ecológico (severidad) tras un evento de fuego (Yailymov *et al.*, 2023). La presente ponencia tiene como objetivo presentar el sistema DSS-FIRE (*Decision Support System for FIRE*), diseñado para monitorear la severidad de incendios forestales en tiempo casi real integrando datos satelitales y meteorológicos. Este enfoque aporta información oportuna para la toma de decisiones en contextos de riesgo climático, alineándose con los objetivos del evento al fortalecer las capacidades regionales de gestión del fuego.

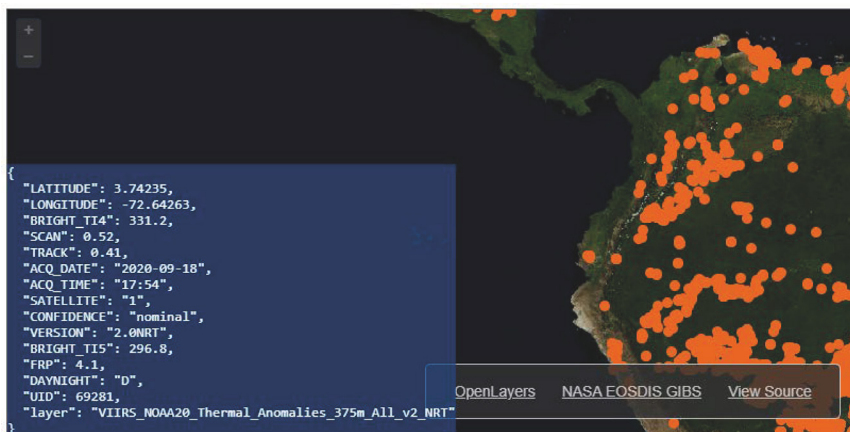
Palabras clave: sistema para la toma de decisiones, incendios forestales, GEE, sensores remotos, riesgo climático.

Materiales y métodos

El sistema DSS-FIRE es una plataforma de soporte a decisiones enfocada en incendios forestales a nivel global que integra herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica. Se basa en el procesamiento en la nube de GEE, que permite manejar grandes volúmenes de datos satelitales de forma eficiente.

Adicionalmente, otras fuentes de datos abiertos son colocadas en la interfaz web que se desarrolló con librerías de mapas abiertas como Leaflet y OpenLayers, facilitando la visualización interactiva de los resultados por parte de los usuarios finales. Entre las fuentes de datos incorporadas destaca el sensor VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) a bordo de los satélites Suomi-NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership) y NOAA-20 (National Oceanic and Atmospheric Administration-20), que detectan focos de calor o incendios activos con resolución nominal de 375 m (Figura 1).

Figura 1. Near real-time data and service visualization (NRT), VIIRS Band-I Map: fuegos activos a resolución especial de 375 m



Los datos de VIIRS, accesibles a través de FIRMS-NASA, se actualizan aproximadamente cada tres horas (Schroeder *et al.*, 2014), brindando un monitoreo casi en tiempo real de la actividad ígnea (ver Tabla 1).

Tabla 1. Funcionalidades principales del sistema DSS-FIRE según la fase del incendio

Terminal	Fase del incendio	Funcionalidades principales	Herramientas y tecnologías
Terminal 1	Fase preventiva	Monitoreo climático, modelado de Fire Weather Index (FWI) e índices de susceptibilidad.	—GEE para análisis y visualización de datos satelitales. —Bibliotecas de código abierto como Leaflet y OpenLayers para mapeo interactivo de datos a escala global.

Terminal	Fase del incendio	Funcionalidades principales	Herramientas y tecnologías
Terminal 2	Fase activa	Detección de focos de calor (VIIRS), seguimiento NRT y visualización <i>Red-Green-Blue</i> (RGB).	—Datos de VIIRS Band-I con resolución de 375 m para detección de incendios activos. —Servicios web de mapeo global como GIBS (<i>Global Imagery Browse Services</i>) para acceso a observaciones de la Tierra de la NASA.
Terminal 3	Fase postincendio	Mapeo de severidad con dNBR, perímetros quemados y estadísticas históricas.	—Análisis de imágenes satelitales postincendio para determinar áreas afectadas y severidad. —Integración de datos históricos para análisis comparativos y tendencias.

Este sensor provee la ubicación de incendios activos e información sobre su intensidad térmica, útil para inferir la severidad del fuego mientras está en curso. Adicionalmente, DSS-FIRE incorpora el Índice Meteorológico de Incendios (FWI) como indicador de peligro de incendio. El FWI forma parte del sistema canadiense de peligro forestal y es uno de los índices más utilizados globalmente para estimar el riesgo diario a partir de variables meteorológicas.

Para su cálculo, el sistema emplea datos meteorológicos (temperatura, humedad, viento, precipitación) de estaciones locales o de reanálisis climáticos disponibles en GEE. Así se generan mapas diarios de

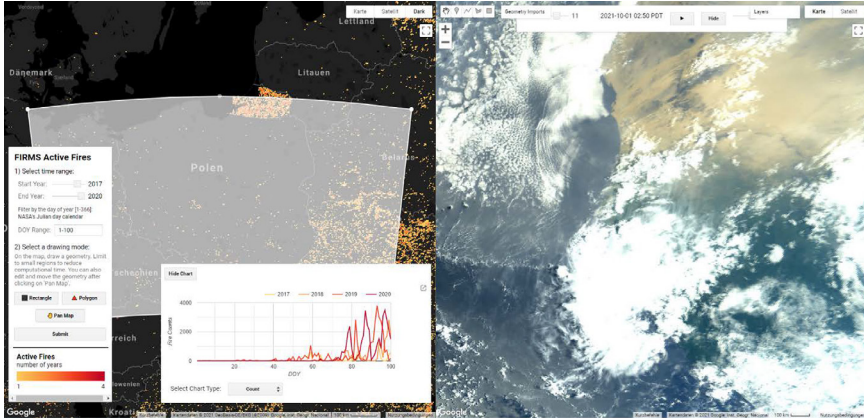
peligro de incendio que alimentan la plataforma en la fase de preincendio. Para evaluar la severidad postincendio, DSS-FIRE utiliza imágenes ópticas pre y postincendio (por ejemplo, Sentinel-2 o Landsat 8) procesadas en Earth Engine. A partir de ellas, se calcula el Índice Diferenciado de Quema Normalizado (dNBR, por sus siglas en inglés), que cuantifica el daño en la vegetación y permite clasificar las áreas quemadas por nivel de severidad (De Santis y Chuvieco, 2009).

En suma, DSS-FIRE combina datos de incendios activos (VIIRS), índices meteorológicos de riesgo (FWI) y análisis satelital de severidad (dNBR), integrando toda esta información en una plataforma web única para apoyar la gestión y toma de decisiones (Flores-Rodríguez *et al.*, 2020).

Resultados

La implementación de DSS-FIRE ha demostrado su eficacia mediante pruebas piloto en escenarios de incendios de Latinoamérica. La plataforma permitió detectar e identificar focos activos en tiempo casi real y mapear rápidamente las áreas afectadas una vez controlado el fuego. Por ejemplo, durante incendios de gran magnitud en la Amazonía (NASA Earth Observatory, 2024), el sistema identificó múltiples focos simultáneos y rastreó su propagación temporal, resultados coherentes con los reportes del programa Quemadas del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales de Brasil (INPE). La integración del índice FWI en la plataforma también permitió anticipar condiciones críticas: en varios casos de estudio se observaron valores extremos de FWI días antes de producirse incendios severos, indicando un estado de alto peligro que antecedió a eventos de gran intensidad (Field *et al.*, 2015). Este tipo de alerta temprana basada en condiciones meteorológicas resultó valioso para movilizar recursos preventivamente.

Figura 2. Visualización en tiempo casi real de incendios forestales en la Terminal 2 de DSS-FIRE



En cuanto al análisis de severidad postincendio, DSS-FIRE facilitó la generación de mapas temáticos distinguiendo zonas de daño ecológico bajo, moderado y alto. En incendios recientes analizados, el dNBR reveló amplias superficies de alta severidad, coincidiendo con la pérdida casi total de cobertura vegetal en esas áreas (Humanitarian OpenStreetMap, 2024). Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que emplean índices satelitales para evaluar la severidad, demostrando que es posible estimar el impacto ecológico de un incendio de forma remota con buena aproximación.

La plataforma presenta estos resultados en un visor geográfico interactivo, de manera que los gestores pueden identificar rápidamente los sectores más afectados y priorizar allí las acciones de restauración o atención postincendio.

Conclusiones

La integración de datos satelitales de detección temprana, indicadores meteorológicos de peligro y análisis de severidad en una sola plataforma mejora significativamente la capacidad de las autoridades para

enfrentar incendios forestales. Al proporcionar información objetiva y oportuna, DSS-FIRE posibilita una respuesta más eficaz y proactiva. En consecuencia, se fortalecen las capacidades locales y regionales para la gestión del riesgo; desde la prevención y la asignación informada de recursos durante la emergencia hasta la restauración de las áreas severamente afectadas. Ante un escenario de cambio climático que augura eventos de fuego más extremos, contar con sistemas robustos de monitoreo satelital se vuelve esencial como parte de las estrategias de adaptación y reducción del riesgo de desastres asociados a incendios forestales.

Referencias

- Yailymov, B., Shelestov, A., Yailymova, H. y Shumilo, L. (2023). Google Earth Engine Framework for Satellite Data-Driven Wildfire Monitoring in Ukraine. *Fire*, 6(11), 411. <https://doi.org/10.3390/fire6110411>
- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L. y Csiszar, I. (2014). The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.12.008>
- Field, R. D., Spessa, A. C., Aziz, N. A., Camia, A., Cantin, A., Carr, R., de Groot, W. J., Dowdy, A. J., Flannigan, M. D., Manomaiphiboon, K., Pappenberger, F., Tanpipat, V. y Wang, X. (2015). Development of a global fire weather database. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(6), 1407-1423. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1407-2015>
- De Santis, A. y Chuvieco, E. (2009). GeoCBI: A modified version of the composite burn index for the initial assessment of burn severity from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 113(1), 554-562. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.10.011>
- NASA Earth Observatory (2024, 22 de febrero). *Amazon Forest Fires Rage in Roraima*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/152511/amazon-forest-fires-rage-in-roraima>

Humanitarian OpenStreetMap Team (2024, 25 de septiembre).
Sudamérica en Llamas: Combatiendo los Incendios con Cartografía
Abierta. <https://www.hotosm.org/updates/latinoamerica-en-llamas-combatiendo-los-incendios-con-cartografia-abierta/>

Gestión de incendios forestales

Incorporación del enfoque del manejo integral del fuego en la gestión de incendios forestales en la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres

María J. Páez-Díaz⁸, Geraldine Moreno Niño⁹,
Marcos E. Quiroga-Palacio¹⁰, María C. Meza-Elizalde¹¹

Introducción

El incremento significativo de eventos extremos relacionados con incendios forestales ha superado la capacidad operativa y logística tradicional en Colombia, debido a la rapidez, intensidad y comportamiento impredecible de estos fenómenos (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres [UNGRD], 2023). Este contexto exige no solo una respuesta inmediata y efectiva, sino también una gestión integral que involucre múltiples dimensiones, desde la gobernanza del riesgo hasta la formación especializada en manejo integral del fuego (MIF). El objetivo específico de esta ponencia es presentar las estrategias diseñadas para fortalecer la gestión integral de incendios forestales, resaltando su pertinencia y efectividad en el

8. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Subdirección para la Reducción del Riesgo. Correo electrónico: geraldine.moreno@gestiondelriesgo.gov.co

9. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Subdirección para la Reducción del Riesgo. Correo electrónico: geraldine.moreno@gestiondelriesgo.gov.co

10. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Subdirección para la Reducción del Riesgo. Correo electrónico: marcos.quiroga@gestiondelriesgo.gov.co

11. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, Subdirección para la Reducción del Riesgo. Correo electrónico: maria.meza@gestiondelriesgo.gov.co

contexto colombiano y cómo estas se alinean con los objetivos del evento, particularmente en la promoción del conocimiento práctico y teórico para una gestión eficiente y sostenible del fuego en distintos ecosistemas.

Palabras clave: Incendios forestales, gestión integral, formación especializada, participación, MIF.

Materiales y métodos

La UNGRD, en su rol de coordinador del SNGRD, ha basado sus propuestas en las siguientes actividades:

1. **Revisión documental internacional:** se realizó una revisión sistemática sobre la aplicación del enfoque de MIF a nivel internacional, con especial énfasis en países latinoamericanos. Esto implica analizar experiencias exitosas, desafíos enfrentados y buenas prácticas implementadas en contextos ambientales, sociales y culturales similares a los de Colombia, con el fin de extraer lecciones aplicables al contexto nacional.
2. **Análisis del marco normativo colombiano:** se revisó el marco normativo y regulatorio nacional relacionado con la gestión integral del riesgo por incendios forestales. Este análisis ha permitido identificar fortalezas, vacíos normativos y oportunidades para incorporar el enfoque integral y participativo en la gestión sostenible del fuego.
3. **Procesos participativos con comunidades:** se llevaron a cabo eventos de participación representativa con comunidades rurales, étnicas, campesinas y diversas, afectadas o potencialmente vulnerables a incendios forestales. Estos espacios, realizados bajo metodologías participativas, han permitido documentar y sistematizar prácticas culturales tradicionales relacionadas con el uso y manejo del fuego, así como identificar necesidades específicas y percepciones comunitarias sobre la prevención y atención de incendios forestales.

4. **Construcción colectiva de soluciones:** a partir de los procesos participativos, se están integrando los saberes ancestrales, culturales y técnicos de las comunidades con los conocimientos científicos y tecnológicos disponibles. Este diálogo de saberes ha facilitado la cocreación de soluciones, sostenibles y culturalmente apropiadas para enfrentar los incendios forestales, fortaleciendo tanto la resiliencia comunitaria como la eficacia en la prevención y control del fuego.
5. **Planteamiento de estrategia de implementación:** finalmente, basado en toda la información, se ha planteado una estrategia específica para la incorporación efectiva del enfoque de manejo integral del fuego en la Gestión de Incendios Forestales liderada por la UNGRD. Esta estrategia busca integrar recomendaciones claras, lineamientos operativos y mecanismos de seguimiento para asegurar su efectiva implementación en el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Resultados

Con la implementación de este enfoque integral, Colombia espera resultados positivos en diversos ámbitos relacionados con la gestión de incendios forestales. La generación y apropiación social del conocimiento facilitará la toma de decisiones informadas y participativas, fortaleciendo la capacidad de respuesta comunitaria e institucional. El desarrollo de herramientas y protocolos específicos mejorará la eficacia operativa frente a eventos extremos, mientras que el fortalecimiento institucional garantizará una coordinación eficiente y una mejor preparación logística. Por otro lado, la formación continua y la práctica en terreno incrementarán sustancialmente la competencia técnica de los equipos especializados, favoreciendo una reducción en la magnitud e impacto de los incendios, así como una mayor sostenibilidad ambiental y resiliencia de los ecosistemas y las comunidades afectadas.

Conclusiones

El aumento de incendios forestales extremos demanda fortalecer las capacidades operativas, logísticas y de respuesta mediante estrategias efectivas que permitan una gestión más eficiente y coordinada.

La formación continua, modular y adaptativa de brigadas especializadas en manejo integral del fuego es fundamental para enfrentar eficazmente los desafíos que presentan estos eventos extremos.

El enfoque de género y la incorporación de saberes ancestrales fortalecen la gestión comunitaria del riesgo, enriqueciendo la comprensión social y cultural del manejo del fuego, especialmente en regiones como la Orinoquía.

Es crucial promover la apropiación social del conocimiento y la educomunicación como estrategias transversales que faciliten la sensibilización y preparación comunitaria ante incendios forestales.

La implementación efectiva del manejo integral del fuego en Colombia requiere un abordaje holístico, adaptado a las particularidades regionales y ecosistémicas del país, que contemple tanto aspectos técnicos y científicos como sociales, culturales y comunitarios.

Referencias

- Meza, M. C. y Armenteras, D. (Eds.). (2023). *La paradoja del fuego: del contexto internacional al caso de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD). (2023). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres* (2.^a ed.). <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Plan-Nacional-de-Gestion-del-Riesgo.aspx>

Reducción de albedo en nieve y aumento de temperatura asociados a emisiones de carbono negro y carbono orgánico de las quemadas de biomasa en la Sierra Nevada del Cocuy, Colombia (2001-2024)

Tomás R. Bolaño-Ortiz¹², Fredy A. Tovar-Bernal¹³,
Magín Lapuerta¹⁴, Eduardo D. Fontanilla-Amaya¹⁵

Introducción

La Sierra Nevada del Cocuy (SNC), un ecosistema glaciar crítico para Colombia, enfrenta una acelerada pérdida de masa de nieve, vinculada a factores climáticos y antropogénicos. Estudios recientes destacan que los aerosoles de carbono negro (BC) y orgánico (OC), emitidos por quemadas de biomasa, reducen el albedo de la nieve, aumentando su absorción de radiación y acelerando el derretimiento (Painter *et al.*, 2013; IPCC, 2021). En el país, el 78 % de las quemadas ocurren en meses secos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2023), coincidiendo con periodos de mayor estrés hídrico.

12 Escuela de Ingeniería en Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Curicó, Chile. Correo electrónico: tbolano@ucm.cl

13 Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA), Facultad de Ingeniería, Santa Marta, Colombia. Correo electrónico: ftovar@unimagdalena.edu.co

14 Grupo de Combustibles y Motores, Universidad Castilla-La Mancha, Ciudad Real, España. Correo electrónico: magin.lapuerta@uclm.es

15 Doctorado en Biotecnología Traslacional, Universidad Católica del Maule, Talca, Chile. Correo electrónico: eduardo.fontanilla@alumnos.ucm.cl

Esta ponencia analiza cómo estas emisiones, junto al calentamiento regional, impactaron la criósfera local entre 2001 y 2024, utilizando datos de MODIS (albedo en nieve) y MERRA-2 (*Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications, Version 2*) (temperatura y emisiones). Metodológicamente, se integraron análisis estadísticos (correlaciones de Pearson/Spearman y regresión multivariada) para identificar patrones espacio-temporales, validando hipótesis de retroalimentación clima-aerosoles. Los resultados revelaron una correlación negativa fuerte ($r \approx -0,65$) entre albedo y BC/OC, con mayor impacto en temporadas de quema (enero-marzo y julio-septiembre). Además, el aumento de las emisiones de BC/OC se correlacionó significativamente ($r > 0,5$) con el aumento de temperatura superficial, alineándose con estudios que muestran una retroalimentación regional entre incendios, clima y deforestación tropical (Hoffmann *et al.*, 2003). Los objetivos específicos son: (1) cuantificar el impacto estacional de BC/OC en el albedo, (2) evaluar su rol en el aumento térmico regional, y (3) proponer estrategias de mitigación basadas en evidencia. Este estudio aporta a los objetivos del evento al proveer herramientas científicas para políticas de conservación glaciaria, priorizando el control de quemas en periodos críticos y la reducción de aerosoles, claves para la sostenibilidad hídrica y ecológica de la región.

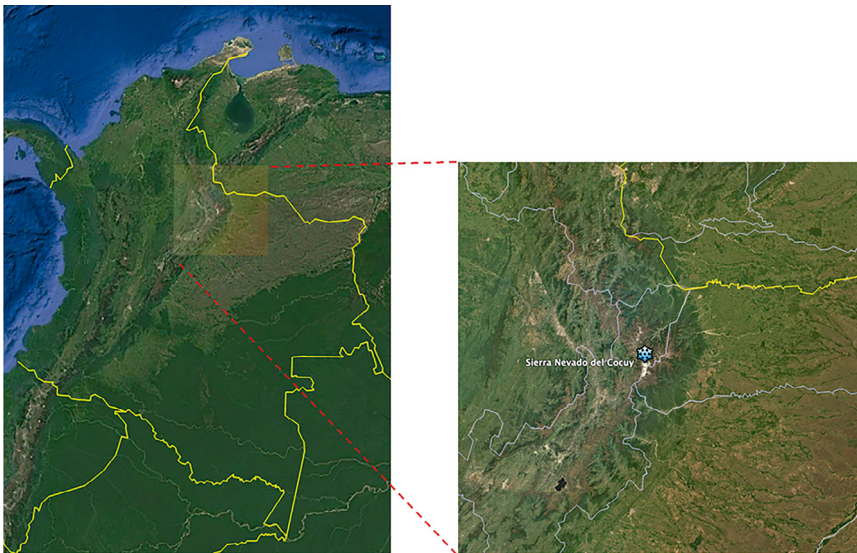
Palabras clave: Emisiones de la quema de biomasa, calentamiento regional, albedo en nieve, temperatura.

Materiales y métodos

Se analizaron datos mensuales (2001-2024) del albedo en nieve (MODIS, resolución 500 m) y variables climáticas (MERRA-2, resolución $0,5^\circ \times 0,625^\circ$), incluyendo temperatura promedio y emisiones de carbono negro (BC) y orgánico (OC) por quema de biomasa, homogeneizados mediante interpolación a una grilla común y promediados mensuales. En el análisis exploratorio, se identificaron tendencias (ej.: disminución de albedo $\sim 0,08$ por década) y estacionalidad, agrupando datos en trimestres (enero-marzo, abril-junio, etc.), validando mediante

eliminación de valores atípicos (>3 desviaciones estándar) y coherencia física (ej.: albedo ≤ 1). Para correlaciones, se aplicó Pearson (lineal, $p < 0,05$) entre albedo, BC, OC y temperatura, y Spearman por trimestre para relaciones no lineales (ej.: enero-marzo), complementado con modelos de regresión multivariados que cuantificaron el impacto de BC, OC y temperatura en albedo en nieve. Los datos de MODIS y MERRA-2 se integraron geográficamente, priorizando la SNC, y las emisiones de BC/OC se normalizaron (log-transformación). El procesamiento empleó Python (xarray, pandas), análisis estadístico (SciPy/statsmodels) y visualización (Matplotlib/Seaborn), identificando relaciones críticas que respaldan la hipótesis de que las emisiones de carbono y calentamiento reducen el albedo regional.

Figura 1. Área de estudio centrada en Colombia, (panel izquierdo) y el *zoom* centrado en la SNC (panel derecho)



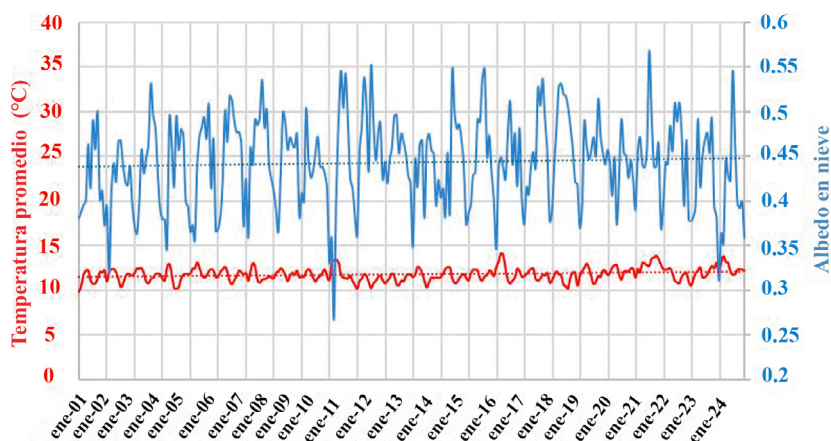
Nota: el zoom es de aproximadamente 400 km x 400 km.

Fuente: adecuación de Google Earth Pro.

Resultados

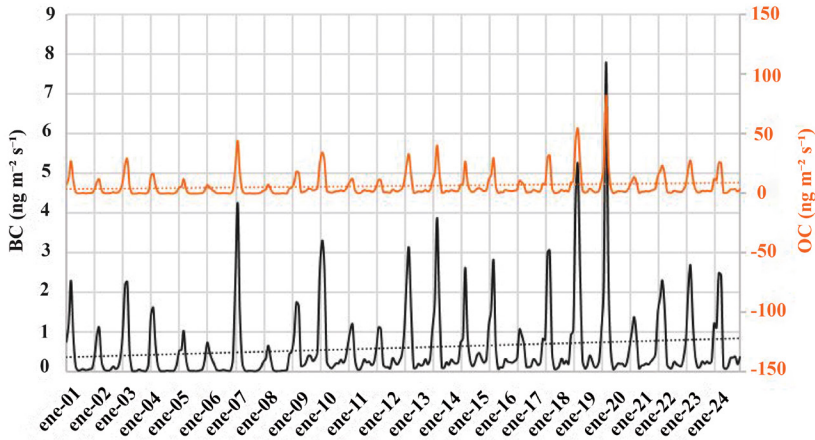
Se llevó a cabo un análisis exploratorio de datos con el objetivo de identificar patrones temporales en variables relevantes para la interacción atmósfera-nieve. A nivel general, se observó una tendencia temporal decreciente en el albedo de la nieve (Figura 2), con una reducción en el promedio anual desde aproximadamente 0,41 en el año 2001 hasta cerca de 0,38 en 2024. Esta disminución fue particularmente notoria durante los meses secos (diciembre a marzo). En paralelo, las emisiones de carbono negro (BC) y carbono orgánico (OC) mostraron aumentos significativos durante los periodos de quema más intensos (enero-marzo y julio-septiembre), alcanzando valores máximos en los años 2019 y 2020; por ejemplo, las emisiones de BC llegaron hasta $7,79 \text{ ng m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 3).

Figura 2. Variación mensual promedio para la temperatura superficial y albedo en nieve para el periodo 2001-2024



Nota: los puntos continuos indican tendencia lineal.

Figura 3. Variación mensual promedio para las emisiones OC y BC por quema de biomasa para el periodo 2001-2024



Nota: los puntos continuos indican tendencia lineal.

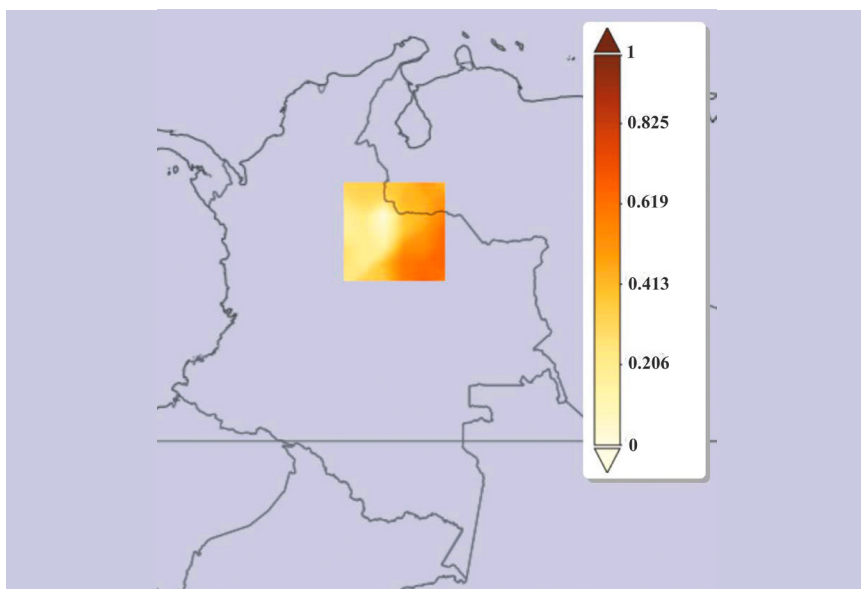
La correlación lineal (coeficiente de Pearson) para todo el periodo mostró una relación de albedo en nieve vs. emisiones carbonáceas de $-0,65$ ($p < 0.01$) para BC y $-0,58$ ($p < 0.01$) para OC, lo cual estaría indicando que reducciones relevantes en albedo en nieve están asociadas a mayores emisiones de BC y OC. Además, las correlaciones no paramétricas (ver Tabla 1) mostraron relaciones considerables que llegaron hasta los $-0,72$ ($p < 0.01$) y $-0,68$ ($p < 0.01$) respectivamente para BC y OC para los meses de enero a marzo (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficiente de Spearman entre el albedo en nieve con el BC y OC para el periodo 2001-2024

Meses	BC	OC
Enero-marzo	$-0,72^{**}$	$-0,68^{**}$
Abril-junio	$-0,35$	$-0,29$
Julio-septiembre	$-0,61^{**}$	$-0,55^{**}$
Octubre-diciembre	$-0,48^*$	$-0,41$

La Figura 4 muestra que, en general, la región ubicada al este de la SNC tiene valores altos de correlación positiva entre temperatura superficial y emisiones de BC/OC que oscilan entre 0,6 y 0,8, mientras que en las zonas altas de la SNC la correlación es hasta 0,2. Específicamente, la correlación entre la temperatura superficial y las emisiones promedio de BC y OC mostró valores significativos de 0,55 ($p < 0.01$) y 0,49 ($p < 0.01$) para BC y OC, respectivamente, indicando que emisiones elevadas se asocian con mayores temperaturas, sugiriendo que aerosoles de carbono actúan como agentes de calentamiento.

Figura 4. Correlación entre temperatura superficial y emisiones de OC/BC en el área de estudio (2001-2024)



Conclusiones

Se encontró una reducción de albedo en nieve con una correlación negativa fuerte ($r \approx -0,65$) entre albedo en nieve y emisiones de

BC/OC, especialmente en temporadas de quema (enero-marzo y julio-septiembre). Además, se estima un aumento de la temperatura superficial debido a que las emisiones de carbono se correlacionan con aumentos de temperatura ($r > 0,5$), apoyando la hipótesis de que estos aerosoles absorben radiación y elevan la temperatura superficial a nivel regional. Además, se observa un impacto estacional debido a las quemadas en meses secos (ej. marzo), que tienen el mayor impacto en el sistema climático local. Finalmente, a modo de recomendación, se estima que se deben establecer políticas de monitoreo y control de quemadas en periodos críticos y estudiar formas de mitigación de estos aerosoles para preservar glaciares en la SNC.

Referencias

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2023). Informe [cifras de monitoreo de la superficie de bosque y la deforestación 2022](https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Informe%20anual%20del%20monitoreo%20de%20bosque%20y%20la%20deforestacion). <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Informe%20anual%20del%20monitoreo%20de%20bosque%20y%20la%20deforestacion>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1>
- Painter, T. H., Flanner, M. G., Kaser, G., Marzeion, B., VanCuren, R. A. y Abdalati, W. (2013). End of the Little Ice Age in the Alps forced by industrial black carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(38), 15216-15221. <https://doi.org/10.1073/pnas.1302570110>
- Hoffmann, W. A., Schroeder, W. y Jackson, R. B. (2003). Regional feedbacks among fire, climate, and tropical deforestation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D23), 4721. <https://doi.org/10.1029/2003JD003494>

Reducción y prevención de incendios forestales

Información que conecta: estrategias de Ojos para el Maule para hacer de la prevención de incendios forestales, parte del día a día

Carmen L. Bravo-Castillo¹⁶, Cristian Bobadilla-Bustos¹⁷,
Claudio Fredes-Monsalve¹⁸

Introducción

Chile, con su vasta superficie forestal de 18.040.157 hectáreas, abarca diversos ecosistemas, desde bosques nativos (81,7 %) hasta plantaciones productivas (17,3 %) y áreas de bosque mixto (1,0 %) (González y Torres, 2020). Estos ecosistemas desempeñan un papel clave en la conservación de la biodiversidad, la regulación climática y el sustento económico de diversas comunidades. Sin embargo, los incendios forestales se han convertido en una de las principales amenazas para estos territorios. Para la temporada 2022-2023, se registraron 6.982 ocurrencias, que dejaron 429.103,01 ha quemadas, y 5.958 ocurrencias en la temporada 2023-2024, con 73.834,59 ha quemadas (CONAF, 2024). Lo anterior representa un riesgo no solo para el equilibrio ecológico, sino también para la seguridad de las poblaciones que habitan en ellos (British Broadcasting Corporation [BBC], 2024).

16. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Chile. Correo electrónico: cbravo@ucm.cl

17. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Chile. Correo electrónico: cbobadil@ucm.cl

18. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Chile. Correo electrónico: cfredes@ucm.cl

Según datos del Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED), el 99 % de los incendios forestales en Chile son causados por la acción humana, mientras que solo el 1 % responde a causas naturales (Asociación de Municipalidades de Chile [AMUCH], 2023). En este contexto, la concientización y la educación ambiental juegan un rol fundamental en la prevención y gestión del riesgo de incendios.

Desde una perspectiva metodológica, abordar esta problemática requiere un enfoque interdisciplinario, combinando herramientas de monitoreo ambiental, modelación de riesgos, educación comunitaria y estrategias de comunicación efectiva. La campaña Ojos para el Maule, iniciada en 2023 e impulsada por la UCM, la Diócesis de Talca, la Diócesis de Linares, el Centro de Formación Técnica San Agustín, la Fundación Centro Regional de Asistencia Técnica y Empresarial (CRATE), Radio Chilena del Maule y UCM Sustentable, se enmarca en este enfoque, promoviendo la vigilancia activa, la participación ciudadana y la generación de conocimiento aplicado para mitigar la ocurrencia de incendios forestales.

La pertinencia de esta iniciativa en el contexto actual se inserta en el marco del «Simposio Regional para la Gestión de Incendios Forestales» en el departamento del Magdalena, donde el intercambio de experiencias entre distintos sectores, autoridades, academia y sociedad civil contribuirá a la construcción de estrategias integradas para la reducción del riesgo de incendios.

Palabras clave: trabajo comunitario, estrategia comunicacional, incendios forestales, prevención, reducción.

Materiales y métodos

La campaña Ojos para el Maule se desarrolla con el objetivo de sensibilizar a la comunidad sobre la prevención de incendios forestales, abordando la problemática desde una estrategia comunicacional integral. Esta iniciativa opera en el marco de las acciones de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), SENAPRED, la Red de Prevención

Comunitaria, las Comunidades Preparadas de Fundación CRATE y la Mesa de Incendios Forestales, consolidando esfuerzos interinstitucionales para la gestión del riesgo. En este contexto, la campaña implementa materiales, herramientas y metodologías alineadas con estándares técnicos y normativos, asegurando su impacto y pertinencia en el territorio.

La estrategia comunicacional se elaboró en conjunto con el asesor comunicacional de la UCM y se estructuró en tres enfoques principales. Primero, la estrategia informativa, que se enfoca en la difusión de datos clave sobre la prevención de incendios forestales. Para ello, el departamento de Comunicaciones de la UCM desarrolló una página web con contenido lingüístico y audiovisual basado en tres ejes fundamentales: Infórmate, Previene y Organízate. Además, se distribuyó material de difusión como calendarios a través de la diócesis y chapitas con mensajes distintivos, facilitando la circulación de la información en distintos espacios comunitarios. Se destacó también una gigantografía ubicada en una de las calles de mayor tránsito de la ciudad de Talca (capital región del Maule).

En segundo lugar, la estrategia educativa buscó fortalecer el conocimiento y la capacitación ciudadana. A través de la página web de la UCM, se pudo acceder a información y obtener una acreditación como vigía, incentivando la participación en la detección temprana de incendios. También se realizaron charlas dirigidas a sacerdotes de la región del Maule, quienes, desde sus comunidades, se convierten en agentes multiplicadores del mensaje preventivo. Además, se coorganizó el seminario «Prevención Integral de Incendios Forestales: de lo Global a lo Local». Se realizaron notas de prensa y entrevistas en radios de alcance regional, para activar los conocimientos de las causas de los incendios forestales y la prevención.

Por último, la estrategia persuasiva buscó generar cambios de comportamiento mediante herramientas de comunicación estratégica. Se enfatizó la responsabilidad individual y colectiva en la reducción del riesgo de incendios, conectando el mensaje preventivo con valores comunitarios y territoriales, informando los castigos que se

aplican a quienes cometen incendios forestales intencionalmente o por negligencia.

Resultados

La campaña Ojos para el Maule ha logrado importantes avances a través de la implementación de estrategias informativas, educativas y persuasivas. La iniciativa ha fortalecido el conocimiento ciudadano y promovido la participación activa en la gestión del riesgo.

Destaca la capacitación de ciudadanos mediante la certificación de vigías, disponible en la plataforma web de la Universidad Católica del Maule (UCM). Esta herramienta ha permitido la formación de una red de observadores comunitarios capaces de identificar riesgos y actuar de manera preventiva.

En el ámbito educativo, la campaña capacitó a líderes comunitarios y sacerdotes, quienes han incorporado la prevención de incendios en sus actividades y discursos. Asimismo, la coorganización del seminario «Prevención Integral de Incendios Forestales: de lo Global a lo Local» permitió el intercambio de conocimientos entre expertos, instituciones y comunidades, lo que fortaleció la cooperación intersectorial.

Como aprendizaje clave en esta campaña, se identificó la importancia de adaptar los mensajes a diferentes públicos mediante formatos accesibles y estrategias de comunicación efectiva. Además, la colaboración con las diversas instituciones ha demostrado ser un factor clave para el éxito y sostenibilidad de la campaña.

El éxito de la campaña quedó evidenciado durante el lanzamiento de Ojos para el Maule 2024-2025, cuando el Ing. Marcelo Rodríguez, jefe regional del Departamento de Protección contra Incendios Forestales de CONAF, destacó sus resultados. Reseñó que, gracias a la colaboración de todos los actores involucrados, se logró reducir en un 14 % la ocurrencia de incendios y hubo una disminución del 80 % en la superficie afectada respecto a la temporada anterior.

Tabla 1. Productos y resultados obtenidos en la campaña

Ítem	Número
Chapitas	1.000
Calendarios	6.000 entre 2024-2025
Seminario «Prevención Integral de Incendios Forestales: de lo Global a lo Local».	33 personas presencial y 163 personas en línea inscritas
Charla Seminario San Pablo Rauquén	Aproximadamente 40 sacerdotes y el obispo de Talca
Visitas a página web	3.000 aproximadamente
Vigías	42 certificados por la UCM
Mensajes radiales	540 (de octubre de 2024 a marzo de 2025)
Entrevistas radiales en directo	2

Conclusiones

Con la campaña Ojos para el Maule se logró ampliar el alcance del mensaje preventivo y fomentar un cambio de comportamiento en la ciudadanía. Se creó y certificó de una red de vigías comunitarios, lo que permitió consolidar una estrategia de vigilancia temprana y respuesta rápida ante situaciones de riesgo. La distribución de materiales impresos, como calendarios y chapitas con mensajes clave, aseguró la difusión en distintos sectores, incluyendo comunidades rurales y organizaciones religiosas. Se promovió colaboración entre instituciones como UCM, CONAF, CRATE, SENAPRED y la Red de Prevención Comunitaria, lo que fue fundamental para garantizar la efectividad y sostenibilidad de la campaña. En función de lo anterior, Ojos para el Maule se posicionó como una iniciativa clave para la prevención de incendios forestales, alineándose con los

planes nacionales de gestión del riesgo y consolidando un modelo reproducible en otras regiones.

Referencias

- Asociación de Municipalidades de Chile-AMUCH (2023). *Estudio Nacional de caracterización de los incendios forestales en las comunas de Chile 1990-2022*. <https://amuch.cl/wp-content/uploads/2024/06/Estudio-Nacional-de-Incendios-Forestales-3-4.pdf>
- British Broadcasting Corporation (BBC) (2024, 27 de mayo). La indignación en Chile por el caso del bombero acusado de provocar los incendios en Viña del Mar que dejaron 137 muertos. <https://www.bbc.com/mundo/articles/c8vv44jp9pdo#:~:text=Los%20voraces%20fuegos%20dejaron%20un,bombero%20voluntario%20de%2022%20a%C3%B1os>
- Corporación Nacional Forestal (CONAF) (2024, 28 de mayo). *Resumen de ocurrencia y daño por comuna 1985-2024*. <https://www.conaf.cl/centro-documentals/estadisticas-historicas/>
- González, P. y Torres, F. (2020). *Vocación Forestal en Chile*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Asesorías Parlamentarias.

Comunidades comprometidas con la conservación de los ecosistemas de manglar en VIPIS

Vera Márquez-Barceló¹⁹, Luis Delgado Domínguez²⁰,
Olga Rangel Corrales²¹, Margarita Estrada Santana²²

Introducción

Mediante los acuerdos de la ruta de conservación del Vía Parque Isla de Salamanca (VIPIS), cinco organizaciones han trabajado desde hace más de dos décadas para la conservación y recuperación de zonas afectadas por causa de incendios forestales y otros factores de origen climático, lo que impacta significativamente a los ecosistemas de manglar y a las comunidades que se encuentran en el área y su zona de influencia.

La Fundación Ambiental Mujeres del Magdalena (Fundamag) fue creada en abril de 2010. Es una organización dedicada al bienestar y progreso comunitario mediante servicios enfocados en problemáticas ambientales y sociales, además de promover programas de deporte, cultura y ecoturismo, con una perspectiva de género y diversidad étnica. Su labor incluye representar y guiar a la comunidad en acciones de protección ambiental, desarrollo social y mejora del

19. Fundación Ambiental Mujeres del Magdalena, caño Clarín, Palermo, Sitionuevo, Magdalena. Correo electrónico: fundamagambiente@gmail.com.

20. Asociación de Mujeres y Pescadores Rurales del caño Clarín, Palermo, Sitionuevo, Magdalena. Correo electrónico: asopesclarinpalermok13@gmail.com.

21. Asociación de Grupos Ecológicos del Vía Parque Isla de Salamanca, Palermo, Sitionuevo, Magdalena. Correo electrónico: asgesyc@gmail.com.

22. Asociación de Recolección de Residuos, Palermo, Sitionuevo, Magdalena. Correo electrónico: aserpacontacto@gmail.com.

hábitat natural a través de la participación y autogestión, además de promover la formación y sensibilización de grupos de apoyo con enfoque de género y étnico para trabajar en iniciativas socioambientales y su gestión a nivel local, municipal y departamental, utilizando medios de comunicación y herramientas audiovisuales.

Además de Fundamag, en el área de influencia también se encuentran otras cuatro organizaciones firmantes del acuerdo de conservación dentro del área protegida VIPIS: Asociación de Recolección de Residuos (Aserpa), Asociación de Mujeres y Pescadores Rurales del caño Clarín (Asopes Clarín), Asociación de Grupos Ecológicos del Vía Parque Isla de Salamanca (Asgesyc) y Asociación de Usuarios Agricultores del caño Clarín.

En 2021, incluyeron dentro de su agenda de restauración las áreas afectadas por incendios forestales. Los eventos de incendios forestales han afectado económica y sanitariamente a las comunidades de pescadores que habitan en el área de influencia, debido a que gran parte del área afectada corresponde a cobertura de mangle (Parques Nacionales Naturales de Colombia [PNNC], 2020), donde anidan las especies pesqueras de las cuales su vocación y sustento dependen. No obstante, también se han registrado incendios pastizales o vegetación acuática como la enea (Ortega, 2018), cuya extensión convierte a los incendios también en una cuestión de salud pública en caño Clarín, a raíz del deterioro de la calidad del aire que sus habitantes respiran durante y después de estos eventos, pues la estela de contaminación consigue penetrar hasta en sus hogares, generando problemas respiratorios en las comunidades.

Palabras clave: comunidades, ecosistemas, educación ambiental, reforestación, restauración ecológica.

Materiales y métodos

La estrategia de gestión ecosistémica para la prevención y reducción de incendios forestales en el área protegida del VIPIS se enmarca en un modelo de gobernanza territorial colaborativa, orientado a la mitigación

del cambio climático y la conservación de los servicios ecosistémicos. Este modelo se implementa mediante la articulación de actores institucionales, comunitarios y organizaciones internacionales.

La gestión se basa en la acción coordinada de cinco organizaciones firmantes de un acuerdo de conservación (Tabla 1), que operan bajo el liderazgo técnico de entidades adscritas al Sistema Nacional Ambiental (SINA), como el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR) y la dirección territorial del área protegida. La intervención se fortalece con el apoyo financiero de World Wildlife Fund for Nature (WWF), en el marco de proyectos orientados a la adaptación y resiliencia climática.

Tabla 1. Actividades realizadas por cada organización para la prevención de incendios forestales

Organización	Actividades
Fundamag	Lidera las jornadas de educación ambiental en el área de influencia del VIPIS, mediante la realización de talleres educativos dirigidos a los más jóvenes, en los que participan en los procesos de resiembra y monitoreo de las plántulas en el vivero.
Aserpa	Recolecta residuos en el corregimiento de Palermo y en las áreas donde se hacen procesos de resiembra para la prevención de incendios.
Asopes Clarín	Contribuye a la restauración de ecosistemas mediante la pesca y horticultura sostenible.
Asgesyc	Promueve acciones para la restauración de ecosistemas degradados por incendios, uso sostenible de recursos y conservación.
Asociación de Usuarios Agricultores del caño Clarín	Aporta a la conservación de ecosistemas mediante las prácticas hortícolas con un enfoque en gestión ambiental.

Resultados

Como resultado de la estrategia de gestión ecosistémica implementada en el área protegida del VIPIS, se han restaurado aproximadamente 90 hectáreas que habían sido afectadas por incendios forestales, mediante actividades de resiembra y la apertura de canales. Esta labor ha sido apoyada por el fortalecimiento del vivero comunitario, que actualmente cuenta con una capacidad instalada de 14.000 plántulas, lo cual garantiza el suministro continuo de especies de mangle para futuras jornadas de reforestación.

Asimismo, la apertura y rehabilitación de canales de agua primarios, como el caño Clarín Viejo, ha mejorado significativamente la accesibilidad al agua en la zona. Esta intervención ha facilitado la recuperación de fuentes hídricas y superficies húmedas, lo que ha reducido la propensión a incendios en las coberturas vegetales predominantes, al tiempo que ha favorecido el desarrollo y la conservación de los manglares reforestados.

Figura 1. Remoción de material vegetal muerto tras un evento de incendio en el área de influencia de VIPIS



Figura 2. Voluntariado de miembros de organizaciones firmantes en incendio de vegetación acuática



Durante el año 2021, gracias a la colaboración con la Universidad del Magdalena y la Cámara de Comercio, se sembraron cerca de 120.000 plántulas de manglar en sectores estratégicos del área protegida. Al año siguiente, en el marco del proyecto WWF-Banco de Occidente, se restauraron dos hectáreas dentro del polígono del caño Clarín Viejo, con la siembra de 2.500 plántulas de mangle amarillo y negro.

En 2023, se ejecutaron nuevas acciones de mitigación de incendios bajo el convenio entre INVEMAR, NaturalSIG y las organizaciones firmantes, bajo el proyecto «Paisajes Sostenibles». Estas incluyeron la limpieza del caño Clarín Nuevo, una zona crítica sometida a procesos de sedimentación durante la temporada seca que favorecen la acumulación de materia vegetal muerta y, por ende, el riesgo

de incendios. A la par, se ejecutó un programa educativo en la comunidad con el apoyo de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, mediante el cual se llevaron a cabo capacitaciones sobre medidas preventivas frente a este tipo de emergencias.

Figura 3. Creación de cortafuegos por parte de miembros de organizaciones firmantes



Figura 4. Articulación de organizaciones firmantes con dirección de PNN



Actualmente, las organizaciones firmantes del acuerdo de conservación se encuentran articulando esfuerzos para llevar a cabo una nueva jornada de resiembra masiva, que contempla la plantación de 7.000 plántulas de mangle. Esta iniciativa se complementa con actividades de sensibilización y educación ambiental en instituciones educativas, a través de la campaña «- plásticos, - incendios, + mangle × un mejor planeta ÷ todos».

Figura 5. Jornada de talleres educativos para la gestión ambiental



Conclusiones

La gestión ecosistémica implementada de los acuerdos de la ruta de conservación del VIPIS ha logrado impactos significativos en la rehabilitación hídrica del área de influencia y, como consecuencia, en la reducción de riesgo a los incendios forestales. A través de acciones como la resiembra masiva en áreas degradadas, la rehabilitación de canales y la educación ambiental, se ha fortalecido la resiliencia del territorio frente a eventos ligados al cambio climático. La colaboración con actores locales ha potenciado la capacidad de intervención y sostenibilidad a largo plazo de las acciones de restauración. Los resultados alcanzados, como la siembra de más de 120.000 plántulas y la preparación de canales durante la temporada seca, demuestran

el impacto positivo de un enfoque colaborativo e integral en la gestión ambiental, contribuyendo a la conservación de los ecosistemas y la seguridad de las comunidades locales.

Referencias

- Ortega, V.N. (2018, 19 de septiembre). Quemases en la Isla Salamanca afectan 2 hectáreas. *El Heraldo*. <https://www.elheraldo.co/local/2018/09/19/quemas-en-el-via-parque-e-isla-salamanca-afectan-2-hectareas/>
- Parques Nacionales Naturales de Colombia-PNNC (2020, 18 de agosto). *Liquidado incendio forestal en el Vía Parque Isla de Salamanca*. <https://old.parquesnacionales.gov.co/portal/es/liquidado-incendio-forestal-en-el-via-parque-isla-de-salamanca/>

Los cuatro elementos y el fuego

Juanita Londoño²³, Angie Yepes²⁴

Introducción

En la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), la presencia de quemaduras que acaban convertidas en grandes incendios, es común. Los primeros tres meses del año, que coinciden con la época de verano, son cuando ocurren la mayoría de estas quemaduras que se hacen antes de que empiecen las lluvias para tener «la tierra abonada». Sin embargo, hay también ocasiones en que se prende fuego «al monte» como una técnica de cacería, pues los animales asustados salen corriendo y el cazador los agarra fácilmente. Lo anterior no quiere decir que estos sean los únicos motivos, pues hay otros como las personas que prenden fuego sin razón alguna, simplemente para mantener «despejada y limpia un área».

Amazon Conservation Team (ACT) inició su trabajo en la SNSM desde el 2012 en el sitio sagrado de la Línea Negra, Jaba Tañiwashkaka. Este sitio de 220 ha aproximadamente se localiza en el municipio de Dibulla. Por el norte colinda con el mar Caribe, por el sur con fincas ganaderas, por el oriente con el río Jerez y por el occidente con la Hacienda del Cequión, que es una reserva de la sociedad civil. Los linderos del sur y del occidente se caracterizan por ser parte de un gran humedal que se encuentra en esta zona y que, para el caso

23. Proceso Sierra Nevada de Santa Marta, Amazon Conservation Team, Colombia. Correo electrónico: jlondono@actcolombia.org

24. Proceso Sierra Nevada de Santa Marta, Amazon Conservation Team, Colombia. Correo electrónico: ayepes@actcolombia.org

de Jaba Tañiwashkaka, ocupa más de tres cuartas partes de lo que es el área total del sitio sagrado.

De acuerdo con esto, Jaba Tañiwashkaka se identifica por este gran humedal que es el corazón del espacio, que se alimenta principalmente de las aguas de los ríos Maluisa y Arroyo Julián y que está rodeado de bosque ripario, reductos de bosque seco y de manglar. El humedal se caracteriza principalmente por la vegetación propia de estos ecosistemas: enea, helecho de pantano, mangle botoncillo, papiros, caña lata, entre otros, así como por la fauna también cangrejos, chigüiros, conejos, caimanes, babillas, zorro perruno, hicotetas, entre muchos otros.

ACT trabaja en el marco de un convenio con el Resguardo Kogui Malayo Arhuaco, con el objetivo de apoyar el proceso de recuperación del Territorio Ancestral y de protección de los sitios sagrados de la Línea Negra. Jaba Tañiwashkaka es el primer sitio de los 348 sitios sagrados que están reconocidos en el Decreto 1500, que se ha recuperado para los pueblos indígenas de la SNSM. En el 2022, en un esfuerzo conjunto con la Agencia Nacional de Tierras, se logró la protección jurídica del sitio sagrado con su inclusión al Resguardo Kogui Malayo Arhuaco (RKMA), cuarta ampliación del resguardo, con el objetivo de recuperar y fortalecer el legado cultural del pueblo kogui, para ser transmitido a generaciones futuras, pues Jaba Tañiwashkaka es clave en el trabajo de los *mama* kogui en su búsqueda por restablecer las conexiones espirituales y materiales entre la parte alta y baja de la Sierra.

Este espacio se fue consolidando a través de la adquisición de 11 predios que se compraron para el RKMA entre el 2012 y el 2018. El Ministerio de Cultura en el 2012, a través del Consejo Nacional de Patrimonio, emitió la Resolución 2873 para declarar como Bien de Interés Cultural del Ámbito Nacional los primeros cuatro predios adquiridos, por su valor:

1. Histórico: porque hacen parte de la Línea Negra e históricamente han servido para realizar pagamentos por alimentos que se producen en las partes altas de la Sierra.
2. Estético: por su carácter natural, con ecosistemas importantes y con especies endémicas de plantas y animales.

3. Simbólico: por ser un sitio donde se llevan a cabo prácticas tradicionales, espirituales y rituales.

Aunque este fue un logro relevante, el trabajo de protección del sitio sagrado se debe hacer de manera permanente. La recuperación de este espacio ha requerido, además de la adquisición de los distintos predios, el fortalecimiento de las relaciones con los vecinos, la población de Dibulla y los pescadores. Asimismo, ha implicado un trabajo conjunto con los *Ezwamas* o sitios de gobierno indígena con los cuales está conectado el sitio sagrado, la formación de jóvenes indígenas para el monitoreo ambiental y cultural, reaprender el manejo del bosque seco y de la franja marino-costera luego de que los indígenas abandonaran la parte baja de la Sierra hace más de 500 años, y construir un ordenamiento del sitio desde la visión ancestral para que recupere y cumpla su función.

Todo este espacio biocultural era muy poco valorado tanto por los propietarios de los distintos predios que vendieron, como por la población de Dibulla; es común que, por desconocimiento, «los pantanos» se vean como tierras inundables sin ninguna importancia, sin valor. Se talaban grandes áreas para soltar el ganado. El corte de mangle y de árboles era muy común para usarlos en cerramientos. Se utiliza la quema como técnica para la cacería. El robo de huevos de animales como el caimán también era una práctica común. En ese sentido, una vez se adquieren los predios que conforman el sitio sagrado de *Jaba Tañiwashkaka*, se diseñó y empezó a implementar un plan de manejo para el sitio.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica, línea negra, plan de manejo, quemadas controladas, sitio sagrado.

Materiales y métodos

Se desarrolló un geoportal, una plataforma interactiva que permite visualizar, analizar, monitorear y consolidar los cambios en la cobertura arbórea causada por incendios en la SNSM entre los años 2001 y 2023. La herramienta integra los datos obtenidos de Global

de cobertura arbórea afectadas por incendios, similar al Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (IDEAM, 2024). Además, se permite consultar atributos detallados con solo realizar un clic en cualquier polígono de cobertura arbórea perdida por incendios: año del evento, extensión del área perdida, ubicación administrativa, figura de protección afectada y cuenca hidrográfica. La descripción metodológica se encuentra dispuesta de la siguiente forma:

1. Descargar la información de Global Forest Watch.
2. Validar la información de manera participativa con las comunidades locales.
3. Conversión de ráster a datos vectoriales en *software* de SIG; para este caso, fue ArcGIS Pro.
4. Conversión de vectoriales a GeoJSON en ArcGIS Pro. GeoJSON es un formato que permite la visualización de datos espaciales en lenguaje de HTML, es decir, en páginas web.
5. Integración de comandos en JavaScript para hacer el geportal interactivo.

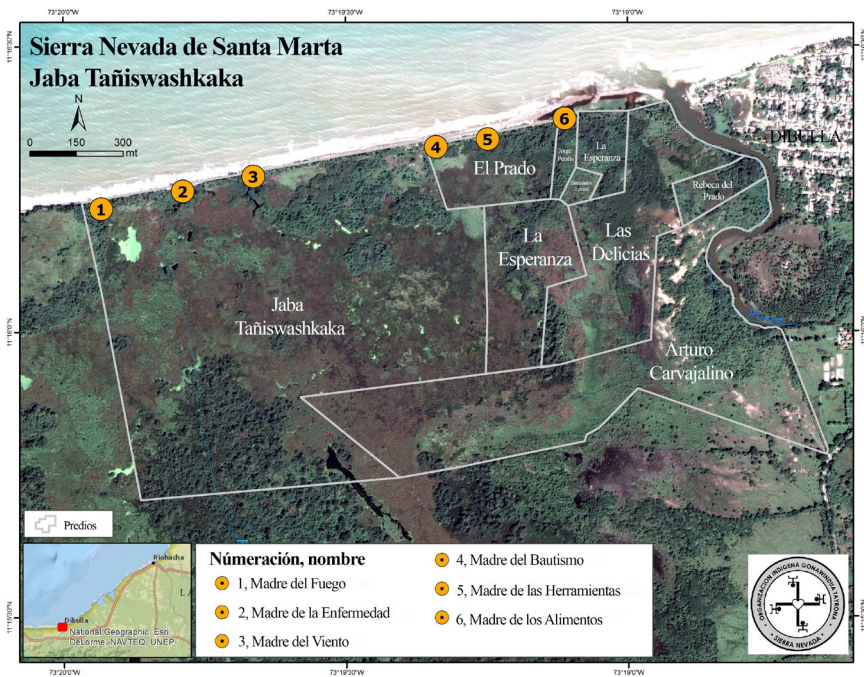
Plan de manejo Jaba Tañiwashkaka

Para hacer seguimiento a las transformaciones ambientales y culturales, se diseñó un plan de manejo a partir de las principales presiones que afectan los objetivos de Jaba Tañiwashkaka: (1) Conservación, (2) Protección de los sitios sagrados, (3) Fortalecimiento del Gobierno propio, y (4) Monitoreo. Se identificó que las principales presiones son:

- Búfalos que entran y pisan el pantano en época de verano buscando agua y alimento.
- Tala, principalmente de mangle.
- Cacería de animales.
- Quema.
- Turismo.

- Basuras.
- Problemas de infraestructura.
- Limitantes para realizar actividades.
- Inundaciones.

Figura 2. Mapa de madre viejas y predios que componen Jaba Tañiwashkaka



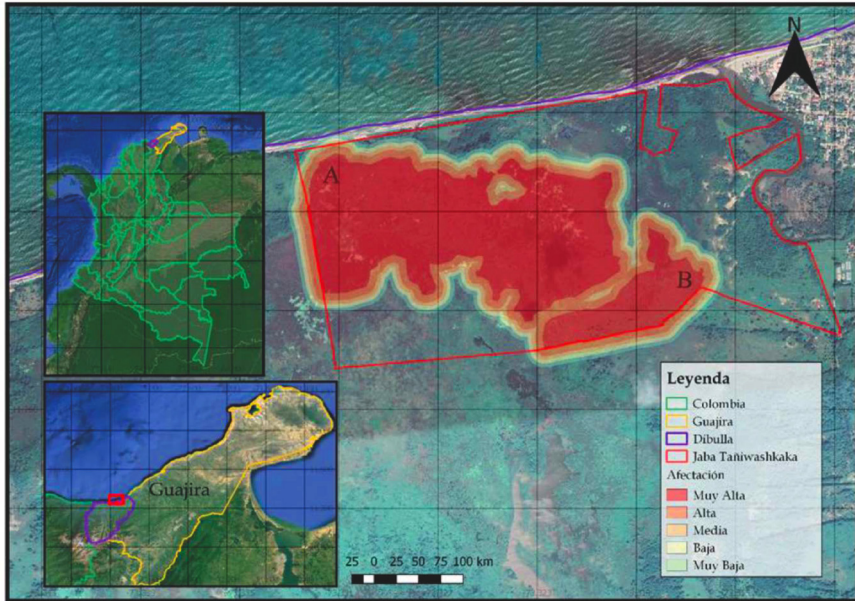
Resultados

Plan de manejo Jaba Tañiwashkaka

Con respecto a los incendios, entre 2012 y 2025, se han presentado dos eventos pequeños y un evento mayor en el año 2019. Las fechas de mayor afluencia de fuego se enmarcaron entre el 14 y el 16

de abril, posteriormente, llamas esporádicas se activaron nuevamente, generando incidencia hasta el 23 de abril de 2019.

Figura 3. Afectación por Quema en *Jaba Tañiwashkaka*



La pérdida de cobertura vegetal fue significativa, al igual que la muerte de muchos animales que habitan en este pantano. Se pudo identificar de dónde surgió el fuego y por qué no se logró controlar.

Figura 4. Quemadas producidas en Jaba Tañiwashkaka



Posterior a este evento, no se han vuelto a presentar otros incendios, pues de la experiencia surgieron aprendizajes para la prevención. El equipo indígena, en conjunto con el de ACT, llevó a cabo algunas consultas con los *mama* Shibulata Zarabata y Salé Zarabata, por la afectación al sitio sagrado de Jaba Tañiwashkaka. Al respecto de las inquietudes: «¿qué es el fuego para los indígenas?», «¿cómo se puede prevenir?» y «¿qué trabajos tradicionales se deben hacer?», ellos respondieron:

En el pensamiento indígena, nada está aislado ni ocurre sin razón alguna. Todo está conectado: la noche con el día, la oscuridad con la luz, lo positivo con lo negativo. Cada elemento de la naturaleza tiene un complemento que lo mantiene vivo: el aire prende el fuego, el agua enriquece la tierra, y el «éter», que para los indígenas es «como

el alma que lo que envuelve todo», es el que conecta todos los elementos. Eso sucede de la misma manera dentro de nuestro cuerpo, porque nosotros también somos naturaleza, hechos de aire, fuego, tierra, agua y éter. Cuando hay desequilibrio, llegan las afectaciones, se producen las inundaciones, los grandes incendios, los terremotos y las enfermedades. Esto sucede porque no se paga espiritualmente por lo que se usa, no se agradece ni se reconoce a la naturaleza, tanto a lo que está por fuera de nosotros como la que compone nuestro cuerpo, ni se cumple con los trabajos tradicionales para estar en paz con la naturaleza. Entonces, la rabia se vuelve fuego o rayo que cae sobre la tierra y quema. Antes de realizar una quema, se deben cumplir con los pagos al fuego. Para esto existen lugares y materiales específicos como el jaspe rojo, el ágata naranja y la citrina. Asimismo, cuando se va a quemar, no se usa ni fósforo ni mechera, se prende una chispa con dos piedras para garantizar que el fuego se controle y maneje adecuadamente.

Como parte de las acciones que se ejecutaron después del incendio producido en el sitio sagrado, se encuentran:

- Análisis del evento: una vez se logró controlar el fuego, se hizo un análisis de lo ocurrido, no solo en términos del área afectada, sino también de capacidad de respuesta. En el sitio se cuenta con tres operarios de ACT y se encontraban tres profesionales más del equipo de ACT. Sin embargo, en un evento de esta magnitud, donde se quemó el 70 % del sitio, se requiere de una orientación profesional para el manejo del fuego, más que muchas personas sin dirección. En ese sentido, fue muy importante el apoyo del cuerpo de bomberos de Mingueo. Como parte del análisis, también se determinó la importancia de mantener los tanques de agua del sitio siempre llenos, así como de contar con todos los elementos necesarios en perfecto estado.

Figura 5. Calendario de quemas



- Sensibilización: como complemento a la formación, se diseñó y se ha venido entregando una cartilla con información específica sobre la prevención de incendios forestales en la SNSM. Esta cartilla se hizo con el apoyo de la Unidad de Bomberos de Mingueo, La Guajira.
- Vigilancia y control: al respecto, se capacitó a los operarios que mantienen el sitio sagrado y diariamente se hacen recorridos de vigilancia y control. Igualmente, en el marco del plan de manejo de Jaba Tañiwashkaka, se hace monitoreo dos veces a la semana y se registra, en una aplicación de Survey 123, los niveles de agua, el estado del bosque y la presencia o no de búfalos, turismo, cacería, quemas, entre otros.
- Formación: se han llevado a cabo dos espacios de formación, uno con el cuerpo de bomberos de Mingueo y otro con la UN-

- GRD, que además entregó una dotación de equipos para contar con dos grupos locales formados y capacitados. En estos espacios se analizaron las causas de los incendios, los calendarios de siembras y quemas, factores como los vientos, etc.
- Cartilla: se presentó una cartilla que compila todo el trabajo realizado en los territorios de Jaba Tañiwashkaka y las inmediaciones de la SNSM.

Figura 6. Portada de la cartilla



Geoportal

Se creó y compartió el geoportal Atlas de Incendios de la SNSM como herramienta fundamental para el conocimiento de los incendios ocurridos en la SNSM. Con la información recolectada y analizada de manera participativa con la comunidad para el geoportal, se pudo establecer que:

- Durante el periodo 2001-2023, la SNSM perdió 7.961,44 hectáreas de cobertura arbórea a causa de incendios forestales. Los años con mayor afectación fueron: 2017, con un total de 1.262,36 hectáreas; 2016, con 1.114,08 hectáreas, y 2003, con 771,91 hectáreas. Los principales factores asociados a estos incendios incluyen: conflictos por el uso del suelo, ampliación de la frontera agrícola y fuertes periodos de sequía relacionados con el fenómeno de El Niño.
- Las zonas más críticas con ocurrencia de incendios en las cuencas del río Frío y Sevilla corresponden a las áreas de resguardo, veredas alejadas y las zonas de cultivos de banano y palma.
- Dentro del área de la Línea Negra en la SNSM, se encuentran seis resguardos indígenas constituidos, que pertenecen a los pueblos kogui, arhuaco, wiwa, kankuamo, wayuu y chimila. De ellos, el Resguardo Kogui-Malayo-Arhuaco, al ser el más grande, registró entre 2001 y 2023 el mayor número de incendios, con un total de 1.564,915 hectáreas. En segundo lugar, el Resguardo Arhuaco de la Sierra tuvo 865,796 hectáreas de coberturas de bosque perdidas por incendios, y, en tercer lugar, el Resguardo Kankuamo, con 39,083 hectáreas.
- De las 32 cuencas de la SNSM, la vertiente noroccidental registra la mayor pérdida de cobertura arbórea, con un total de 2.424,45 hectáreas.
- Las cuencas con mayor registro de incendios son, en primer lugar, la del río Fundación, con 921,72 hectáreas; seguida por la del río Aracataca, con 819,25 hectáreas; la del río

Sevilla, con 556,73 hectáreas; en cuarto lugar, la del río Ari-guaní, con 520,65 hectáreas; y en quinta posición, la del río Ranchería, con 453,87 hectáreas.

- En las áreas protegidas de la ecorregión, entre el 2001 y 2023, el Parque Sierra Nevada fue el más afectado, con un total 1.487,234 hectáreas perdidas por incendios, seguido por el Santuario de Flora y Fauna Ciénaga Grande, con 360 hectáreas, y el Parque Tayrona, con 53,210 hectáreas.

Conclusiones

La mayor presión sobre los bosques se evidencia espacialmente con la ocurrencia de incendios forestales. Cada año se pierde gran cantidad de hectáreas de bosque que afectan no solo la riqueza natural del territorio, sino, sobre todo, los nacimientos y cuerpos de agua.

Los meses de febrero y marzo, correspondientes al primer periodo seco del año en la SNSM, son los que registran mayores eventos de incendios, mostrando una marcada estacionalidad en la ocurrencia de estos eventos.

La pérdida de bosques en cualquier piso altitudinal es una gran afectación por la pérdida de conectividad entre paisajes. Sin embargo, las quemadas en el bosque seco o en el páramo tienen mayores implicaciones porque son coberturas vegetales frágiles y difíciles de recuperar.

A través del cumplimiento de los trabajos tradicionales, los indígenas «pagan» espiritualmente a la naturaleza por mantener y enriquecer la vida: cuando no se «paga» ni se reconoce, los jefes de las distintas naturalezas, «cobran» en forma de enfermedades, tempestades, incendios, inundaciones. «Pagar» es ser consciente y agradecer por lo que se recibe de la naturaleza. Al cuidar, se está pagando a la naturaleza.

El uso fuego en relación con el calendario de siembras es la manera de garantizar un manejo adecuado.

Referencias

- Bowman, D. M., Balch, J., Artaxo, P., Bond, W. J., Cochrane, M. A., D'Antonio, C. M., DeFries, R., Johnston, F. H., Keeley, J. E., Krawchuk, M. A., Kull, C. A., Mack, M., Moritz, M. A., Pyne, S., Roos, C. I., Scott, A. C., Sodhi, N. S., y Swetnam, T. W. (2011). The human dimension of fire regimes on Earth. *Journal of Biogeography*, 38(12), 2223-2236.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. (2024). *Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono. Boletines Alertas Tempranas de Deforestación*. <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/alertas-tempranas-por-deforestacion>

Los autores

Tionhokélé Drissa Soro. Profesor-Investigador en la Universidad Félix Houphouët-Boigny, doctor en Ecología y magíster en Biodiversidad y Gestión Sostenible de los Ecosistemas, con conocimientos Sistemas de Información Localizada para la Ordenación del Territorio (SILAT), territorios, medio ambiente, teledetección e información espacial. Ha llevado a cabo diversas investigaciones en materia de incendios forestales a partir de información satelital en Costa de Marfil y Sudáfrica.

Yiniva Camargo Caicedo. Ingeniera Química, especialista en Ingeniería de Saneamiento Ambiental, magíster en Tecnología Ambiental y doctora (c) en Ciencias Ambientales. Docente de planta de la Universidad del Magdalena y líder del Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA), fundado en 2005, con el que ha liderado proyectos e investigaciones sobre variabilidad y adaptación al cambio climático, contaminación y modelación ambiental, y calidad del aire y sus implicaciones en la salud pública.

Sindy Bolaño Díaz. Ingeniera Ambiental y Sanitaria, y magíster en Cambio Climático Carbono y Recursos Hídricos. Docente de cátedra en la Universidad del Magdalena e investigadora Junior en el Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales, mediante el cual ha ejecutado investigaciones en materia de cambio climático, calidad del aire e incendios forestales. Con experiencia en la ejecución de proyectos, redacción científica y tutoría de tesis de pregrado.

Manuel Pérez Pérez. Estudiante de grado del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, semillerista adscrito al Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales (GIMSA). Vinculado como ayudante de investigación en el proyecto de desarrollo experimental titulado «Caracterización de biomas potencialmente en riesgo de incendios forestales durante eventos climáticos extremos en el departamento del Magdalena, Colombia».

Geraldine Pomares Meza. Estudiante de grado del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y ayudante de investigación en el Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales. Vinculada al proyecto de investigación y desarrollo experimental «Caracterización de biomas potencialmente en riesgo de incendios forestales durante eventos climáticos extremos en el departamento del Magdalena, Colombia». Sus líneas de investigación han sido la ciencia del cambio climático y la hidrometeorología.

Alexander Ariza Pastrana. Ingeniero forestal con énfasis en Sistemas de Información Geográfica (SIG), doctor en Tecnologías de la Información Geográfica e investigador de datos geoespaciales, con conocimientos en geoinformación y teledetección, SIG, ciencias ambientales y geomática aplicada a la gestión de riesgos. Ha llevado a cabo investigaciones, proyectos y trabajos con instituciones públicas y privadas e investigadores.

Juan Villagrán de León. Jefe de la Oficina de ONU-SPIDER en Bonn, Alemania. Experto en gestión de riesgos de catástrofes y sistemas de alerta temprana. Ha fomentado del uso de tecnologías espaciales en la reducción del riesgo de catástrofes, la preparación y la respuesta de emergencia. Investigador en física experimental de la materia condensada, geofísica y gestión del riesgo de catástrofes.

María Paéz Díaz. Ingeniera ambiental, especialista en Gerencia en Medio Ambiente y Prevención de Desastre, y magíster en Gestión

y Evaluación Ambiental. Desde 2021 trabaja para la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) como profesional especializado en inclusión de la gestión del riesgo en la planificación territorial departamental y municipal.

Geraldine Moreno Niño. Ingeniera forestal. Contratista de la Subdirección para la Reducción del Riesgo de la UNGRD. Dentro de la entidad ha contribuido a la formulación de proyectos que promuevan la participación de las comunidades étnicas en espacios institucionales para la construcción colectiva de los Planes Municipales de Gestión del Riesgo.

Marcos Quiroga Palacio. Licenciado en Biología y magíster en Ciencias Ambientales. Es funcionario de la Unidad Administrativa Especial Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá D. C. (UAECOB). Cuenta con investigaciones sobre la ecología del fuego y el manejo del fuego en áreas protegidas.

María Meza Elizalde. Ingeniera forestal, magíster en Manejo, Uso y Conservación del Bosque, y doctora en Ciencias. Desde 2024 es la subdirectora para la Reducción del Riesgo de la UNGRD. Su experiencia profesional incluye más de cuatro años dedicados al manejo integral del fuego y a los incendios forestales.

Tomás Bolaño Ortiz. Ingeniero ambiental y sanitario, magíster en Tecnología Ambiental, y doctor en Ingeniería. Actualmente es profesor asistente de la Universidad Católica del Maule. Ha realizado investigaciones en ciencias atmosféricas, modelado atmosférico y estudios de cambios en la criosfera utilizando teledetección a través de partículas absorbentes de luz en la criosfera de montaña en Sudamérica, especialmente en Chile.

Eduardo Fontanilla Amaya. Ingeniero ambiental y sanitario, estudiante del Doctorado en Biotecnología Traslacional. Ha ejecutado

trabajos relacionados con el procesamiento de datos de imágenes satelitales, y parametrización y manejo de modelos radiativos para analizar la variación espacio-temporal del albedo superficial en la nieve, bajo la influencia de partículas absorbentes de luz.

Fredy Tovar Bernal. Administrador ambiental, magíster en Ciencia y Tecnología Ambiental, y estudiante del Doctorado en Ciencia y Tecnología Industrial y Ambiental, con énfasis en Glaciología. Cuenta con 20 años de experiencia en gestión pública ambiental. Desde 2020, es profesor catedrático del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena e investigador en temas de cambio climático y calidad del aire.

Magín Lapuerta Amigo. Ingeniero industrial y doctor en Ingeniería. Desde su fundación en 1996, ha sido líder del Grupo de Combustibles y Motores de la Universidad de Castilla-La Mancha. Ha dirigido proyectos sobre biocombustibles, residuos y biomasa, con enfoque en la valoración del impacto ambiental de estas formas alternativas de producción de energía. Es autor de varios libros y cuenta con más de 100 artículos en revistas científicas internacionales sobre combustibles, emisiones y material particulado.

Carmen Bravo Castillo. Ingeniera forestal y magíster en Gestión Ambiental y Ordenamiento Territorial. Es profesora del Departamento de Ciencias Forestales de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Católica del Maule. Investigadora del convenio «Fostering Green Transition: Bioeconomy in Chile and Finland» y miembro de la mesa forestal del Maule. Especializada en la investigación de operaciones, la gestión ambiental y la economía de los recursos naturales.

Cristián Bobadilla Bustos. Ingeniero de ejecución forestal y magíster en Geografía, con énfasis en ordenamiento territorial. Investigador y director de la Escuela de Ingeniería en Recursos Naturales de

la Universidad Católica del Maule. Ha sido parte de la mesa técnica para evaluación de proyectos de desarrollo y transferencia de I+D+I.

Claudio Fredes Monsalve. Ingeniero agrónomo y magíster en Horticultura. Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Católica de Maule. Sus investigaciones se encuentran enfocadas en la enología y la epidemiología ambiental aplicada a la agricultura.

Vera Márquez Barceló. Representante legal de la Fundación Ambiental Mujeres del Magdalena (Fundamag), que opera en el caño Clarín, corregimiento de Palermo, Sitionuevo, Magdalena, Colombia. Durante 15 años ha trabajado en gestión ambiental comunitaria, liderando proyectos cooperativos en materia de restauración y preservación ecológica con institutos y fundaciones nacionales e internacionales.

Luis Delgado Domínguez. Representante legal de la Asociación de Mujeres y Pescadores Rurales del caño Clarín, corregimiento de Palermo, Sitionuevo, Magdalena, Colombia, la cual opera formalmente de 2021. Como presidente de ASOPES, ha impulsado el desarrollo y la gestión coordinada de actividades de la pesca y agricultura en la comunidad, garantizando la protección medioambiental y la sostenibilidad en la producción económica.

Olga Rangel Corrales. Representante legal de la Asociación de Grupos Ecológicos del Vía Parque Isla de Salamanca, corregimiento de Palermo, Sitionuevo, Magdalena, Colombia. Junto con la representación de Fundamag, ha trabajado con la comunidad del caño Clarín, habitantes del área de influencia del Vía Parque Isla de Salamanca, en procesos de restauración ecológica y prevención de amenazas climáticas.

Margarita Estrada Santana. Representante legal de la Asociación de Recolección de Residuos, corregimiento de Palermo, Sitionuevo, Magdalena, Colombia. Ha liderado campañas educativas y proyectos cuyos objetivos giran en torno a la buena gestión de residuos sólidos para, entre otros efectos, la prevención de incendios de cobertura.

Juanita Londoño Niño. Coordinadora de la organización Amazon Conservation Team en el proceso ejecutado en la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM). Con más de una década de experiencia fortaleciendo la gestión territorial de los pueblos indígenas de la SNSM, ha liderado iniciativas en sitios sagrados como Jaba Tañiwashkaka, promoviendo acuerdos de conservación entre comunidades indígenas y no indígenas e impulsando el uso de aplicaciones de georreferenciación para el mapeo historias orales, en aras de fomentar el reconocimiento mutuo y la conservación cultural colaborativa.

Angie Yepes Serrano. Politóloga y activista ambiental. Su experiencia en gestión de proyectos se basa en la cooperación internacional para la ejecución de proyectos como «Tejiendo Verdades y Memorias: una invitación a apropiar la verdad y la memoria del territorio de Ciénaga», realizado en alianza con la Comisión para el Esclarecimiento de la Verdad, donde desempeñó el cargo de directora. Actualmente, hace parte del equipo coordinador del proceso SNSM llevado a cabo por Amazon Conservation Team, con el que ha adelantado investigaciones sobre ecología del fuego en la cuenca del río Frío.