

CONSERVACIÓN

# Evaluación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal del Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá, Colombia)

Forest fire risk assessment in the Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá, Colombia)

Nicolás Martelo-Jiménez <sup>1\*</sup>, Orlando Vargas Ríos <sup>2</sup>

- Recibido: 22/Oct/2020
- Aceptado: 04/May/2021
- Publicación en línea: 06/May/2021

**Citación:** Martelo-Jiménez N, Vargas Ríos O. 2022. Evaluación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal del Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá, Colombia). *Caldasia* 44(2):380-393. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.91115>

## ABSTRACT

The alteration of natural fire regimes in many ecosystems of the world has several causes, the most important are: land uses with agricultural burning under drought conditions, changes in land cover due to deforestation, the spread of invasive plants, and climate change. This paper evaluated the wildfire risk of the Santuario de Fauna y Flora Iguaque (SFFI) from the definition of its hazard and vulnerability. The multi-criteria methodology defined by the Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) was used with some modifications according to later conceptions of risk theory and disaster management. The total high and very high hazard of wildfire was found in 34.9 % of the SFFI and the total vulnerability for the same categories was 98.5 % for the area. Therefore, the high and very high risk of fires covered 27.3 % of the protected area, located mainly in its central and southwestern regions. Likewise, the moderate risk covered 39.4 % of the Sanctuary. These results propose fires as one of the main disturbances of the SFFI ecosystems and show the high possibility that this phenomenon produces adverse effects on socio-ecological systems. This zoning may contribute to the management of the Sanctuary around the reduction of the negative impacts of fires, their severity, and intensity.

**Keywords:** Wildfires, Santuario de Fauna y Flora Iguaque, protected areas, multicriteria analysis

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Grupo de Restauración Ecológica GREUNAL. Bogotá, Colombia. [cnmartel@unal.edu.co](mailto:cnmartel@unal.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Grupo de Restauración Ecológica GREUNAL. Bogotá, Colombia. [jovargasr@unal.edu.co](mailto:jovargasr@unal.edu.co)

\* Autor para correspondencia.



## RESUMEN

La alteración de los regímenes naturales de incendios en muchos ecosistemas del mundo tiene varias causas, entre las cuales las más importantes son: los usos de la tierra con quemadas agrícolas en condiciones de sequía, los cambios en las coberturas vegetales por deforestación, la expansión de plantas invasoras y el cambio climático. En este trabajo se evaluó el riesgo a incendios de la cobertura vegetal del Santuario de Fauna y Flora Iguaque (SFFI) a partir de la definición de su amenaza y vulnerabilidad. Se utilizó la metodología multicriterio definida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) con algunas modificaciones según concepciones posteriores de la teoría del riesgo y gestión de desastres. Se encontró la amenaza total alta y muy alta de incendios de la cobertura vegetal en el 34,9 % del SFFI y la vulnerabilidad total con las mismas categorías para el 98,5 % del territorio. Por lo anterior, el riesgo alto y muy alto de incendios abarcó el 27,3 % del área protegida, localizado principalmente en su región central y suroccidental. Asimismo, el riesgo moderado abarcó el 39,4 % del Santuario. Dichos resultados proponen a los incendios como uno de los principales disturbios de los ecosistemas presentes y evidencian la alta posibilidad de que este fenómeno produzca afectaciones adversas sobre los sistemas socioecológicos. Esta zonificación contribuirá a la gestión del Santuario en torno a la reducción de los impactos negativos de los incendios, su severidad e intensidad.

**Palabras clave:** Incendios, área protegida, metodología multicriterio, Santuario de Fauna y Flora Iguaque.

## INTRODUCCIÓN

Los incendios de la cobertura vegetal son un agente constante de cambios en el paisaje que ha sido fundamental en la historia evolutiva y en el mantenimiento de diversas especies y biomas (Scott 2000, He *et al.* 2016). Su ocurrencia natural responde a factores entre los que se encuentran las interacciones con el clima, la susceptibilidad de los ecosistemas y la adaptación de ciertas especies vegetales a la ignición e inflamabilidad (Aponte *et al.* 2016). Tal es el caso de biomas como las sabanas, en donde la regeneración de varias especies vegetales a partir de sus semillas está fuertemente atada al fuego (Daibes *et al.* 2019).

Las actividades humanas, al igual que factores como el cambio climático y la invasión de especies exóticas alteran la dinámica natural de los incendios. Dichos cambios sobre su dinámica pueden afectar la estructura y la composición de especies, así como sobrepasar la resiliencia de los ecosistemas (Miller *et al.* 2019, Keeley y Pausas 2019). De igual forma, pueden llevar a cambios en la conectividad ecológica a nivel de paisaje (Tepley *et al.* 2018), liberación de gases de efecto invernadero (Rossi *et al.* 2016), pérdida de nutrientes del suelo, y colonización de especies invasoras (Vargas 2013), entre otros. Estos efectos van a depen-

der de factores asociados al régimen natural de fuegos, los biomas en los que se presentan y las interacciones entre los ecosistemas y poblaciones humanas que los habitan (Shlisky *et al.* 2007, Vargas 2013, Armenteras *et al.* 2020).

En la actualidad, los incendios de la cobertura vegetal representan un factor de impacto considerable a escala global, tanto de los sistemas ecológicos como sociales. Cerca del 4,5 % de la superficie terrestre (entre 3,4 y 4,6 millones de km<sup>2</sup>) presentan incendios cada año (Lambin y Meyfroidt 2011, Randerson *et al.* 2012). De acuerdo con la base de datos internacional de desastres EM-DAT (Guha-sapir *et al.* 2020), entre los años 2000 y 2019 más de 3 230 000 personas fueron afectadas y por lo menos 1485 personas perdieron la vida. Asimismo, las pérdidas económicas han alcanzado valores anuales de U.S. \$12 318 millones con un promedio anual de U.S. \$ 2677 millones (Doerr y Santín 2016).

En Suramérica los impactos asociados a los incendios de la cobertura vegetal pueden presentarse con mayor severidad dadas las limitaciones para respuestas efectivas en comparación con países de mayores ingresos como Estados Unidos, Canadá y Australia (Cochrane 2009, Armenteras *et al.* 2011). Para el periodo 2000-2019, más de 151

600 personas se vieron afectadas y por lo menos 84 perdieron la vida (Guha-Sapir *et al.* 2020). Pese a la dificultad para calcular los costos asociados a este fenómeno en la región dada la poca disponibilidad de información, se estima que para la década de los 90' estos ascendieron a U.S.\$ 1600 millones anuales (Gonzalez-Caban 2013).

De acuerdo con el proyecto GLOBSACAR 2000 (Simon *et al.* 2004), Colombia ocupa el tercer lugar con relación a la proporción del total del área quemada para Suramérica, después de Brasil y Argentina, y es el primero en pérdida de vidas humanas por incendios forestales según la Evaluación Regional de la Reducción del Riesgo de Desastres Basada en Ecosistemas y Biodiversidad en Suramérica de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (McBreen 2016). El área afectada por incendios se ha estimado en cerca del 3,17 % de la superficie terrestre del país, con 36 087,50 km<sup>2</sup> quemados entre el periodo de diciembre de 2000 a marzo de 2009 (Armenteras *et al.* 2011). Como principales causas se han identificado la deforestación para la expansión de la frontera agropecuaria y el establecimiento de cultivos de uso ilícito, así como las quemadas agrícolas en épocas de sequía, influenciadas a su vez por los cambios en la temperatura y estacionalidad de la precipitación producto del cambio climático (Armenteras *et al.* 2020).

Con el propósito de reducir los impactos negativos de los incendios, su severidad o intensidad a través de la planeación y el manejo de las áreas conservadas, se han desarrollado diferentes métodos para la estimación y zonificación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal. La tecnología geoespacial en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica (GIS) permiten integrar la variabilidad espacio-temporal y relacionar factores ambientales de las regiones para diferentes tipos de ecosistemas con el propósito de contribuir al manejo de los incendios forestales (Chuvienco y Congalton 1989, Kanga *et al.* 2017, You *et al.* 2017). Como resultado, hoy en día existen diversos métodos para su evaluación que aprovechan herramientas estadísticas, entre ellas la regresión logística, la combinación lineal simple ponderada (WLC, por sus siglas en inglés), el método de la lógica difusa, el método de redes neuronales, el método de análisis multicriterio y el aprendizaje de máquina (*machine learning*) (Goleiji *et al.* 2017).

En el caso del Santuario de Fauna y Flora Iguaque (SFFI), área del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Colom-

bia, los incendios de la cobertura vegetal son un factor de disturbio que se presenta desde hace tiempo, principalmente por causas antrópicas como cambios en la cobertura vegetal, el manejo agropecuario y la colonización y expansión de especies exóticas (Vargas 2013, Aguilar-Garavito *et al.* 2016). Tal es el grado de amenaza asociado a los incendios, que ha sido identificado como crítico para seis de los ocho Valores Objeto de Conservación evaluados en el último Plan de Manejo del Santuario (Villarreal *et al.* 2017).

El objetivo de este trabajo fue determinar el riesgo a incendios de la cobertura vegetal del SFFI a partir de la estimación de la amenaza de los incendios y su vulnerabilidad entendida desde las características asociadas a su vegetación, las dificultades y limitaciones institucionales, el patrimonio natural, histórico, artístico, cultural y religioso, las dinámicas ecológicas que pueden disminuir su protección frente a los incendios, los asentamientos humanos, la infraestructura y las actividades económicas presentes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El SFFI se ubica en el departamento de Boyacá, Colombia, en la jurisdicción de los municipios de Villa de Leyva, Arcabuco y Chíquiza entre las coordenadas geográficas extremas de 5°36'02" y 5°44'38" Norte y 73°22'57" y 73°31'20" Oeste. Posee elevaciones entre los 2400 y 3800 m (PNN 2006, Villarreal *et al.* 2017) y su extensión abarca 6922,7 ha (Fig. 1).

Desde el punto de vista cultural, el Santuario posee un importante valor simbólico, en especial la Laguna de Iguaque o de San Pedro de Iguaque según la rebautizaron los españoles, considerada como cuna de la humanidad por la cultura muisca (Morales *et al.* 2007, Villarreal *et al.* 2017). No obstante, ha sido transformado por procesos de ocupación y expansión de la frontera agrícola al igual que otros páramos de la región (IAvH 2017).

Desde el punto de vista ecosistémico, el Santuario en conjunto con el Macizo de Iguaque representa el área de mayor conservación de diversidad biológica en sus inmediaciones, a la vez que conforman una zona de recarga hídrica fundamental para el suministro de agua hacia la región (Villarreal *et al.* 2017, PNN y Corpoboyacá 2018). La presencia de páramos y bosques altoandinos en su interior garantizan la provisión de servicios ecosistémicos a escala

local y regional como la regulación y provisión hídrica, la formación y protección de suelos y sedimentos, la regulación de riesgos y fenómenos extremos, así como la recreación asociada al ecoturismo, el desarrollo intelectual, cultural, artístico (Aguilar-Garavito *et al.* 2016, Villarreal *et al.* 2017) y espiritual (Morales *et al.* 2007, IAvH 2017).

La vegetación original del SFFI se conformaba de bosques y páramos en las zonas más húmedas. Del lado occidental predominaban los bosques de robles (*Quercus humboldtii* Bonpl.), mientras que en las partes bajas del SFFI (2300 a 3050 m) (bosque andino bajo) y en las partes altas del costado oriental predominaban bosques de encenillos (*Weinmannia tomentosa* L.f.) (2850 a 3650 m), los bosques de Lauráceas (bosque alto andino) y los páramos y subpáramos (3000 a 3800 m). Al respecto, Fandiño (1996) reporta seis tipos de vegetación natural: 1. Bosques de *Quercus*, 2. Bosques de *Weinmannia*, 3. Pastizales de *Calamagrostis*, 4. Arbustales de *Weinmannia*, 5. Arbustales de *Cavendishia*, 6. Arbustales de *Dodonea*.

Los usos actuales de la tierra que rodean el SFFI se pueden caracterizar a grandes rasgos de la siguiente manera: 1. Sector de San Pedro de Iguaque: cultivos de papa con rotaciones de ganado, 2. Sector Chíquiza y Sáchica: cultivos de cebolla e invernaderos para tomate, 3. Sector Arcabuco: Ganadería (pastizales de kikuyo), 4. Sector Villa de Leyva: turismo y recreación.

#### Estimación del riesgo a incendios de la cobertura vegetal

La evaluación del riesgo a incendios se basó en el "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal" del IDEAM (2011) con algunas modificaciones. En este trabajo el riesgo de desastres se define como la posibilidad de que un evento adverso, antrópico o natural, genere afectaciones económicas, sociales o ecosistémicas en un espacio y tiempo definidos, el cual se compone de la interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos al fuego (UNISDR 2015, McBreen 2016, Pabón-Caicedo *et al.* 2018). Tanto las variables relacionadas a los componentes del riesgo a incendios de la cobertura vegetal, como los ponderadores estimados responden a la implementación de la metodología de análisis multicriterio basada en la consulta a expertos realizada por el IDEAM (IDEAM 2011).

No obstante, el presente trabajo abordó los conceptos de riesgo, amenaza, vulnerabilidad y exposición de acuerdo con lo planteado por Pabón-Caicedo *et al.* (2018) y el Mar-

co de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (UNISDR 2015). Por lo anterior, a partir del protocolo del IDEAM (2011), la susceptibilidad de la vegetación fue excluida como componente de la amenaza y se incluyó en el de la vulnerabilidad. Asimismo, se incorporó la exposición, entendida como una condición para la estimación de la amenaza, puesto que un fenómeno extremo se convierte en amenaza solo si existen sistemas o elementos de éstos que se encuentren expuestos a sus efectos negativos (Fuchs *et al.* 2011, Pabón-Caicedo *et al.* 2018).

En consideración de lo anterior, el presente estudio se basó en la ecuación 1 para el cálculo de la amenaza.

Ecuación 1.

$$Amenaza = \left[ \begin{array}{l} (0,41) \text{ Precipitación} + \\ (0,41) \text{ Temperatura} + \\ (0,05) \text{ Pendientes} + \\ (0,08) \text{ Frecuencia} \\ +(0,05) \text{ Accesibilidad} \end{array} \right] \times \text{Exposición}$$

Por su parte, la vulnerabilidad vista desde la reducción de riesgo de desastres se relaciona con la fragilidad, susceptibilidad y falta de resiliencia de los sistemas expuestos dadas sus condiciones socio-ecológicas (Cardona 2011, Birkmann y McMillan 2020). En consecuencia, la estimación de la vulnerabilidad utilizó la ecuación 2.

Ecuación 2.

$$Vulnerabilidad = (0,17) \text{ Susceptibilidad de la vegetación} + (0,03) \text{ V. institucional} + (0,17) \text{ V. Patrimonial} + (0,26) \text{ V. Poblacional} + (0,17) \text{ V. territorial} + (0,05) \text{ V. Infraestructura} + (0,15) \text{ V. Económica}$$

#### Obtención de datos

##### Precipitación y temperatura

Se utilizaron datos meteorológicos con periodicidad mensual de la precipitación total mensual y la temperatura media de 40 estaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el periodo 1981-2010. Estos se depuraron de acuerdo con las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM 2018),

de manera que las estimaciones de la precipitación total multianual y la temperatura media multianual se basaron en los datos de 34 y 28 estaciones respectivamente.

Una vez depurados los datos, se realizó el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA, por sus siglas en inglés) y el análisis variográfico para evaluar su comportamiento y requerimientos de modelado (Anselin y Getis 1992). De esta manera, se realizó la transformación Box-Cox para los datos de precipitación. Posteriormente se realizó la validación cruzada para la selección del mejor modelo a partir de los métodos de la distancia inversa ponderada (IDW), Kriging Ordinario y Regresión Kriging según el Modelo Lineal Generalizado. En este último caso se relacionó como covariable la altitud, previa verificación de su correlación con las variables de interés, obtenida a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) de imágenes del satélite Alos-Palsar. Por lo anterior, se seleccionó la interpolación de la precipitación

total mensual multianual obtenida del Kriging Ordinario y la temperatura media multianual estimada a partir del Regresión Kriging.

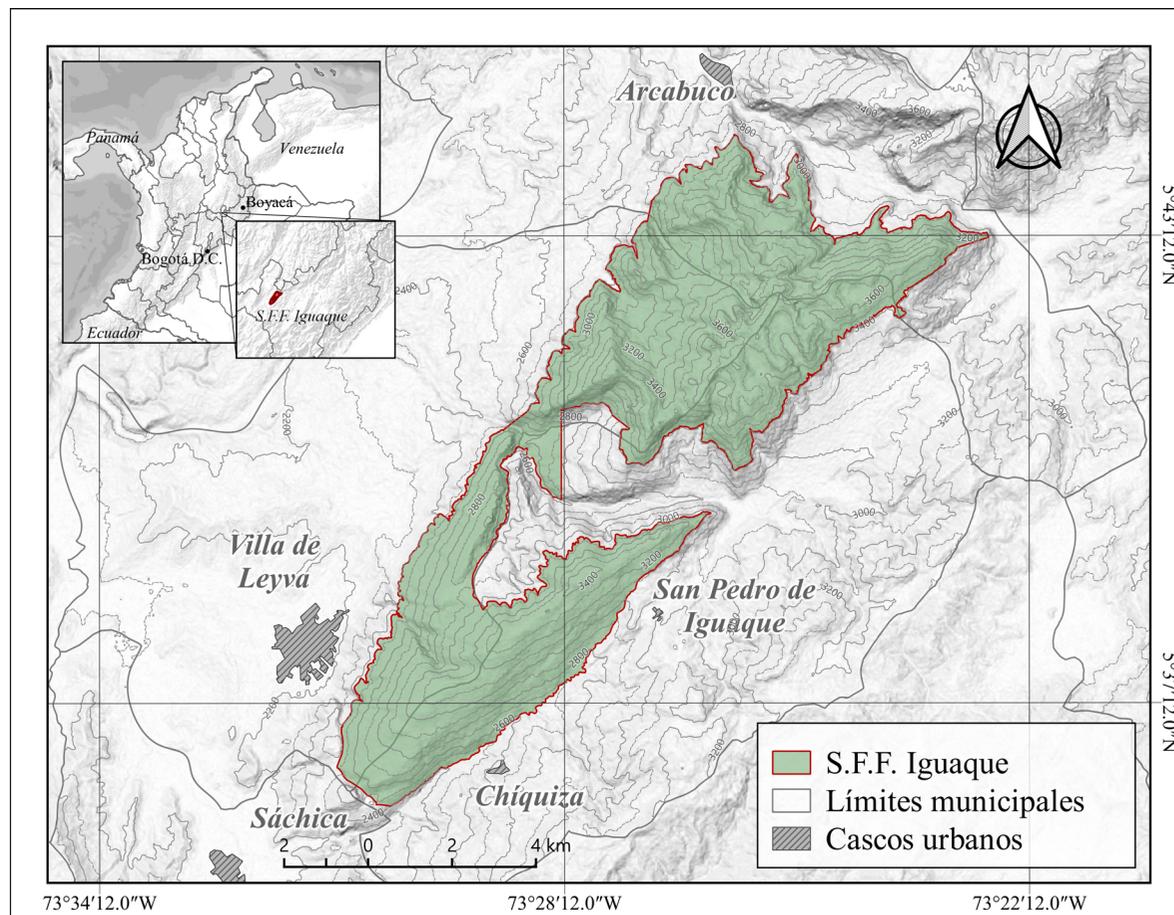
**Pendientes**

El relieve se incluyó a partir de los diferentes ángulos de superficies, dada su influencia diferenciada en el comportamiento del fuego (Matin *et al.* 2017). Para ello se realizó un análisis de pendientes a partir del DEM obtenido para la zona.

**Frecuencia**

La frecuencia de incendios relaciona el factor histórico del riesgo y su evaluación se recomienda a partir de periodos superiores a diez años (IDEAM 2011). Dada la disponibilidad de información, su estimación se soportó en el registro de incendios a nivel de vereda para el periodo 2000-2018.

Los registros de incendios se obtuvieron a partir de las siguientes fuentes: Sistema de inventario de efectos de



**Figura 1.** Ubicación del Santuario de Fauna y Flora Iguaque. Elaborado a partir de la información geográfica de PNN Registro Único de Áreas Protegidas (2019), cartografía base del IGAC (2019) y el mapa base de ESRI Terrain. Sistema de referencia de coordenadas WGS84 (EPSG: 4326)

desastres Desinventar (c2019), Parques Nacionales Naturales (PNN 2006, 2010, Puentes 2015, Villarreal *et al.* 2017), Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres de Boyacá (OGR-DB), alcaldías municipales de Arcabuco, Chíquiza y Villa de Leyva, bomberos voluntarios de Arcabuco, Chíquiza y Villa de Leyva, tesis de investigación (Farfán y Jiménez 2005, Forero 2016) y notas de prensa.

Para su sistematización se eliminaron los duplicados y se unificaron las localidades y nombres de veredas según la información contenida en los Planes de Ordenamiento Territorial y los Planes de Desarrollo Municipales (Alcaldía Municipal de Arcabuco 2000, 2016, Alcaldía Municipal de Chíquiza 2001, 2016, Alcaldía Municipal de Villa de Leyva 2004, 2016).

### Accesibilidad

La accesibilidad buscó identificar la densidad vial teniendo en cuenta que es a través de éstas que la población puede acceder a las zonas forestales y generar focos de incendio. Para ello, y de acuerdo con el IDEAM (2011) se tomó como referencia la distancia a las vías primarias y secundarias de la zona de estudio y se crearon cuatro zonas de amortiguación de 500 m cada una. Como fuente de información se tomó la cartografía básica provista por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

### Exposición

La exposición hace referencia a aquellos elementos de los sistemas ecológicos o humanos que pueden verse afectados por un fenómeno extremo como los incendios (Fuchs *et al.* 2011, Pabón-Caicedo *et al.* 2018). Se definió a partir de las coberturas de la tierra presentes en el SFFI para el año 2018, donde se consideró únicamente como elementos no expuestos directamente a los afloramientos rocosos y las lagunas.

### Susceptibilidad de la vegetación

La susceptibilidad de la vegetación identificó y valoró la condición pirogénica de la vegetación. Se compone del tipo de combustibles, la duración de éstos y su carga total, de manera que se definió a partir de las categorías de amenaza según Páramo (2007) y el IDEAM (2011).

### Vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal

La vulnerabilidad a incendios del SFFI se evaluó a partir de las vulnerabilidades institucional, patrimonial, poblacional, territorial, de la infraestructura y económica. Para

ello, la vulnerabilidad institucional se relacionó con las limitaciones y dificultades de las instituciones para la atención de los incendios y fue evaluada mediante un análisis de distancias en tres dimensiones que consideró las vías más cercanas y el DEM de la zona.

Mediante la vulnerabilidad patrimonial se buscó evaluar los posibles efectos que pueden ocasionar los incendios sobre el patrimonio natural, histórico, artístico, cultural y religioso. De esta manera y dadas las características del SFFI, se calificó con vulnerabilidad muy alta en toda su extensión. Por su parte, la vulnerabilidad poblacional relacionó la ocupación de asentamientos humanos presentes y se basó en la información de los planes de ordenamiento y planes de desarrollo municipales, así como lo reportado en el Tercer Censo Nacional Agropecuario (DANE 2016).

La vulnerabilidad territorial involucra las dinámicas ecológicas y culturales que disminuyen la protección frente a la amenaza de incendios. En este caso se centró en la vulnerabilidad ecológica, la cual evalúa el grado de adaptación que tienen los tipos de cobertura involucrados en el SFFI frente a los regímenes de fuego. Su estimación relacionó el análisis de coberturas vegetales más reciente con las categorías de vulnerabilidad ecológica definidas por el IDEAM (2011).

Respecto a la vulnerabilidad de la infraestructura, se evaluó el peligro que los incendios pueden representar a elementos como acueductos municipales, vías y zonas de recreación, por lo que su evaluación se soportó en la información reportada por el IGAC, así como en los planes de ordenamiento y planes de desarrollo municipales (Alcaldía Municipal de Arcabuco 2000, 2016, Alcaldía Municipal de Chíquiza 2001, 2016, Alcaldía Municipal de Villa de Leyva 2004, 2016).

La vulnerabilidad económica se relacionó con las áreas productivas que pueden ser afectadas por los incendios. Su estimación se basó en el análisis de coberturas vegetales realizado para la determinación del uso actual de la tierra y se relacionó con las categorías de vulnerabilidad definidas por el IDEAM (2011).

### Normalización de variables

Una vez espacializadas las diferentes variables asociadas al riesgo y con el propósito de integrar sus diferentes factores, se realizó su normalización de acuerdo con una escala numérica de riesgo ordinal (IDEAM 2011). En el

caso de las variables asociadas a la amenaza y el riesgo, solo se consideraron valores obtenidos para los elementos expuestos.

## RESULTADOS

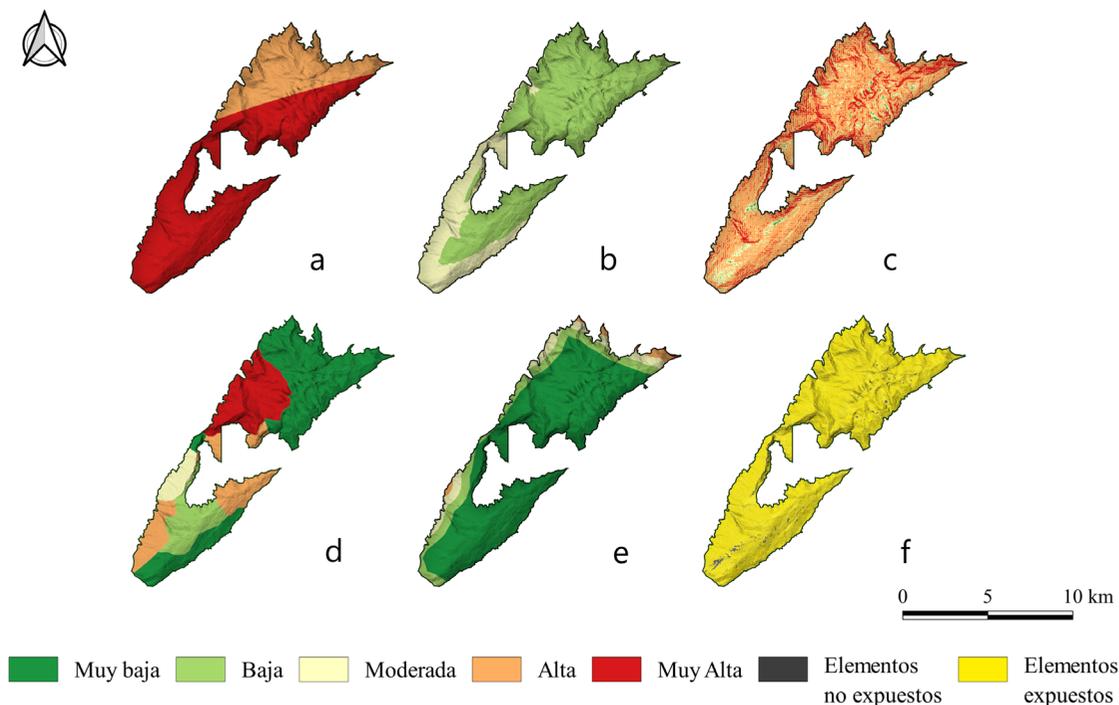
### Amenaza y vulnerabilidad a incendios

La espacialización de las seis variables que componen la amenaza de incendios se muestra en la Fig. 2. En cuanto a la frecuencia de incendios, se registraron 63 eventos al interior del SFFI para el periodo 2000-2018. De estos, tan solo seis se relacionaron con una causa determinada, siendo dos de origen natural (rayos) y cuatro de origen antrópico (labores agropecuarias y provocados intencionalmente). Por su parte, las siete variables que componen la vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal se muestran en la Fig. 3.

Una vez integradas las variables a partir de los ponderadores definidos en la ecuación 1, se espacializó la amenaza total de incendios de la cobertura vegetal para el SFFI (Fig. 4a). Las categorías de amenaza alta y muy alta ocu-

paron el 34,9 % y se localizaron sobre todo en las regiones central y suroriental, lo que indica la alta posibilidad de ocurrencia de incendios, especialmente sobre la vertiente noroccidental. Por su parte, las categorías de amenaza moderada, baja y muy baja representaron el 32,0 %; 13,7 % y 18,0 % respectivamente, con la localización de estas dos últimas sobre la región nororiental. El 1,4 % restante correspondió a elementos no expuestos, conformados por afloramientos rocosos y cuerpos de agua.

En cuanto a la integración de las variables de vulnerabilidad total a incendios (ecuación 2), se encontró una alta y muy alta vulnerabilidad del SFFI en el 98,5% de su extensión frente a este tipo de disturbio (Fig. 4b). De forma específica el 64,2 % de su extensión presentó una vulnerabilidad muy alta, especialmente en la región norte. La vulnerabilidad alta abarcó el 34,3 % de la extensión, mientras que la vulnerabilidad moderada, baja y muy baja representaron el 0,2 %, 0,4 % y 1,0 % respectivamente. Dichos resultados se entienden principalmente por la fragilidad y susceptibilidad de los ecosistemas presentes, así como sus valores patrimoniales tanto ecológicos como culturales.



**Figura 2.** Distribución espacial de las variables de amenaza de incendios de la cobertura vegetal del SFF Iguaque. **a** Precipitación total mensual multianual, **b** temperatura media multianual, **c** pendientes, **d** frecuencia de incendios, **e** accesibilidad, y **f** exposición.

### Riesgo a incendios de la cobertura vegetal

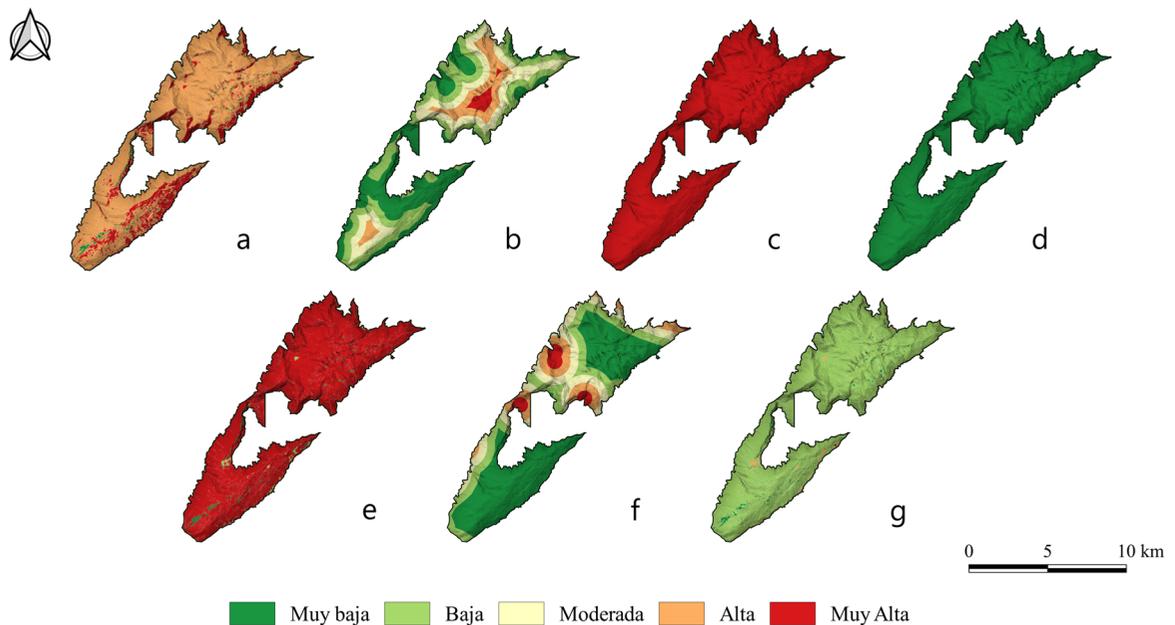
Al relacionar los resultados de amenaza y vulnerabilidad total, se obtuvo el mapa de riesgo a incendios de la cobertura vegetal del SFFI (Fig. 4c). Las categorías de riesgo muy alto y alto abarcaron el 27,3 % de la extensión del Santuario y se localizaron mayoritariamente sobre la región suroccidental y central. Por lo tanto, es en estas zonas donde existe la mayor posibilidad de que ocurran los incendios que generen afectaciones desde lo ecosistémico, social y económico. El riesgo moderado abarcó el 39,4 % de su extensión y se localizó principalmente en las zonas altas y la vertiente suroriental, mientras que los riesgos bajo y muy bajo abarcaron respectivamente el 13,8 % y 18,1 % del Santuario y se ubicaron en su extremo norte. El 1,4 % restante correspondió a elementos que no se encuentran expuestos directamente.

## DISCUSIÓN

The Nature Conservancy (TNC) (2004) y Hardesty *et al.* (2005) clasificaron en cuatro categorías la respuesta de los ecosistemas al fuego: 1. independientes del fuego, 2. dependientes del fuego, 3. sensibles al fuego, y 4. influidos

por el fuego. Los ecosistemas independientes del fuego son aquellos en los cuales el fuego juega un papel muy pequeño o nulo. Son demasiado fríos, húmedos o secos para quemarse (TNC 2004, Hardesty *et al.* 2005), en algunos casos carecen de suficiente fuente de combustible o ignición para que el fuego se manifieste como una fuerza evolutiva (Shlisky *et al.* 2007). Ejemplos de ecosistemas independientes del fuego en Colombia son los bosques lluviosos (Amazonas y Chocó), los bosques andinos de niebla, el superpáramo y zonas áridas en la Guajira, principalmente las zonas con muy poca vegetación, o que actualmente han sido transformadas en áreas desérticas.

En Colombia los ecosistemas independientes del fuego se pueden clasificar en ecosistemas cuyo factor determinante es la humedad durante todo el año y tienen alta producción de biomasa, en esta categoría están los bosques lluviosos y los bosques de niebla. La otra categoría son los ecosistemas que tienen una baja producción de biomasa producto del estrés por bajas temperaturas (superpáramo) o de estrés hídrico (zonas áridas). Sin embargo, para el caso de los bosques de robles, en condiciones de transformación permanente y cambio climático, éstos pasan a ser ecosistemas sensibles al fuego.



**Figura 3.** Tipos de vulnerabilidad a incendios de la cobertura vegetal del SFFI. **a** Susceptibilidad de la vegetación, **b** vulnerabilidad institucional, **c** vulnerabilidad patrimonial, **d** vulnerabilidad poblacional, **e** vulnerabilidad territorial, **f** vulnerabilidad de la infraestructura y **g** vulnerabilidad económica.

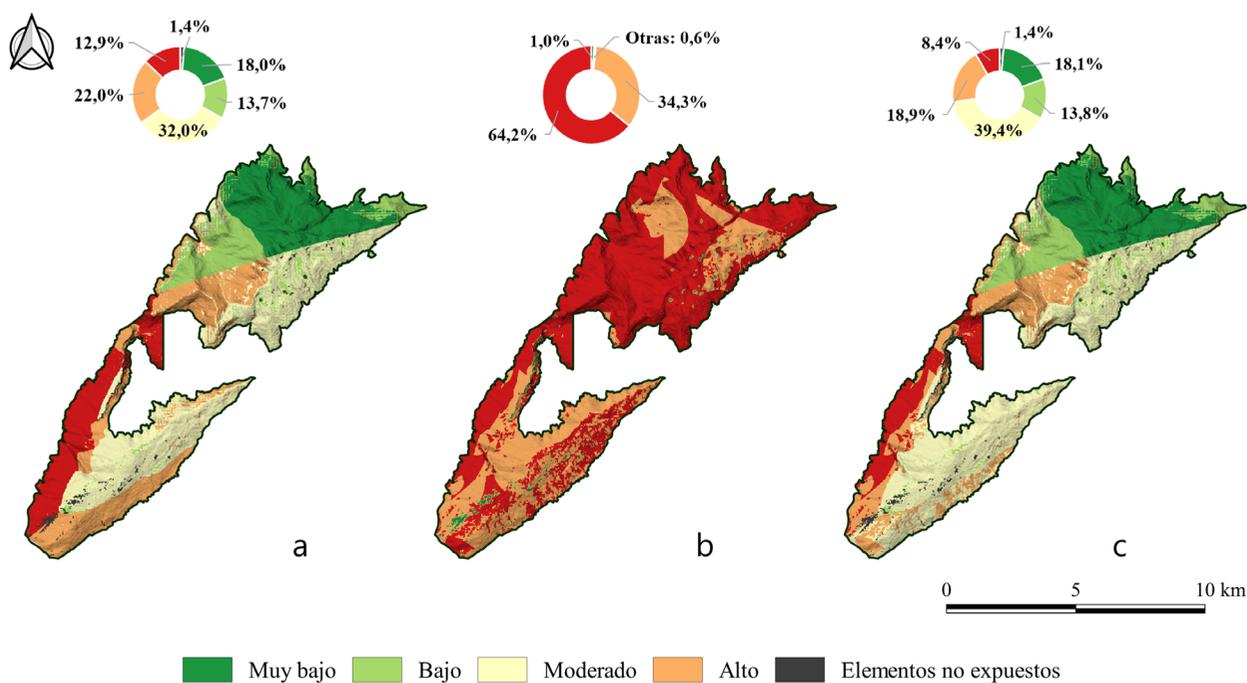
En los ecosistemas dependientes del fuego, el fuego es una fuerza evolutiva, las especies han desarrollado adaptaciones para responder positivamente y para facilitar su reproducción, es decir, la vegetación es inflamable y propensa al fuego. A menudo se los denomina ecosistemas pirófilos, adaptados al fuego o mantenidos por el fuego. En estos ecosistemas si se quita el fuego, o se altera el régimen de fuego, más allá de su intervalo normal de variabilidad, el ecosistema se transforma en algo diferente, y se pierden hábitats y especies (Hardesty *et al.* 2005, Shlisky *et al.* 2007). En Colombia el único ecosistema dependiente del fuego son las sabanas tanto estacionales como inundables cuya característica más importante es la estacionalidad de la precipitación y su cobertura continua de gramíneas.

Los ecosistemas sensibles al fuego carecen de las adaptaciones para responder a los incendios, por consiguiente, la mortalidad de especies es alta incluso cuando la intensidad del fuego es muy baja (TNC 2004). En el caso de algunos tipos de bosques, la estructura y la composición de la vegetación tienden a inhibir la ignición y la propagación del fuego. En otras palabras, no son muy inflamables. En otros casos en que la vegetación es abierta, el fuego se puede propagar fácilmente y tener mayor impacto. Estos ecosistemas tienen por lo general frecuencias de fuego

muy bajas y pueden ser considerados independientes del fuego. Sin embargo, los incendios se convierten en un problema cuando las actividades humanas fragmentan estos ecosistemas, los combustibles se alteran y las igniciones aumentan (TNC 2004). A medida que cambia el régimen de fuegos por actividades humanas, la vegetación cambia y se vuelve más susceptible a ser quemada. Los bosques se transforman en pastizales (sabanización) (D’Antonio y Vitousek 1992), generalmente con pastos invasores.

Los ecosistemas sensibles al fuego en Colombia son los más abundantes, por efecto de cambios en los usos de la tierra, las invasiones de pastos y arbustos pirófilos, y el cambio climático (TNC 2004, Hardesty *et al.* 2005). Dentro de estos ecosistemas están: los bosques húmedos, bosques secos, bosques andinos, los páramos (subpáramo y páramo propiamente dicho) y el matorral espinoso, los cuales han sido muy transformados y están en grandes procesos de sabanización, paramización, aridización y desertización (Armenteras *et al.* 2020).

Los ecosistemas influidos por el fuego se encuentran en transición con los ecosistemas dependientes del fuego, sensibles al fuego o independientes del fuego (TNC 2004). En general, éstos son ecosistemas sensibles al fuego, pero



**Figura 4.** Categorías de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del SFF Iguaque. **a** Amenaza total, **b** vulnerabilidad total y **c** riesgo.

que contienen algunas especies que pueden responder positivamente a las perturbaciones del fuego, o ecosistemas que podrían subsistir sin la presencia del fuego, en los cuales las perturbaciones del fuego juegan un papel en la creación de ciertos hábitats, favoreciendo la abundancia relativa de ciertas especies y manteniendo la biodiversidad (TNC 2004). En los ecosistemas influidos por el fuego, los incendios generalmente se originan en la vegetación adyacente dependiente del fuego y se propagan en grado variable y a intervalos variables hacia la vegetación influida por el fuego, si bien un nivel bajo de tala y quema tradicional con fines agrícolas puede haber sido una importante fuente endógena de ignición. Aquí, el fuego puede ser un factor importante en la creación de ciertos hábitats, al abrir los doseles del bosque o de los arbustos, iniciando una sucesión y manteniendo la vegetación de transición (TNC 2004).

Para los ecosistemas del SFFI, la sabanización hace cada vez más dependientes del fuego a estas zonas, a la par que los bosques andinos y páramos se tornan cada vez más sensibles. Este proceso, favorecido por la transformación y ocupación de los ecosistemas se encuentra estrechamente relacionado con la expansión de la frontera agrícola. Al igual que en otras regiones andinas y especialmente a partir de los años 60 del siglo pasado, el aumento en el uso de agroquímicos y maquinaria generó en el complejo de páramos Iguaque-Merchán un rápido aumento de la superficie agropecuaria (IAvH 2017). Con el pasar de las generaciones, se presentó un proceso de partición de la propiedad,

de manera que la formación de unidades productivas agrícolas familiares más pequeñas ocasionaron mayor presión sobre los ecosistemas y continuaron la ampliación de la frontera agrícola (IAvH 2014).

Los cambios en los usos del suelo iniciaron cambios en la vegetación que fueron interactuando con disturbios como agricultura, ganadería, erosión y fuegos, pasando de coberturas arbóreas a arbustivas con predominio de *Dodonea* y posteriormente a herbáceas con predominio del helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), hasta el dominio actual de *Melinis minutiflora* P.Beauv. que ha cambiado el régimen de fuegos. Así pues, la deforestación inició la sabanización con especies invasoras de gramíneas y se dio origen a las diferentes combinaciones de arbustales que se ven actualmente, con especies de subpáramo y sucesionales pioneras de bosque. El encuentro de áreas paramizadas con gramíneas nativas y áreas sabanizadas con gramíneas introducidas hacen que los fuegos se propaguen cada vez más rápido y, en consecuencia, la dinámica de la vegetación se ve orientada hacia una sabanización con especies de gramíneas introducidas.

En concordancia con lo anterior, en las zonas de muy alta y alta amenaza y asociadas con la cobertura de herbáceas se hallaron a *M. minutiflora* y *P. aquilinum* (Fig. 5), para las cuales se ha reportado el favorecimiento de su dominancia por la incidencia de fuegos (Silva Matos y Belinato 2010, Brandão *et al.* 2017, Martins *et al.* 2017). De acuerdo con Musso *et al.* (2015), *M. minutiflora* presenta la tasa

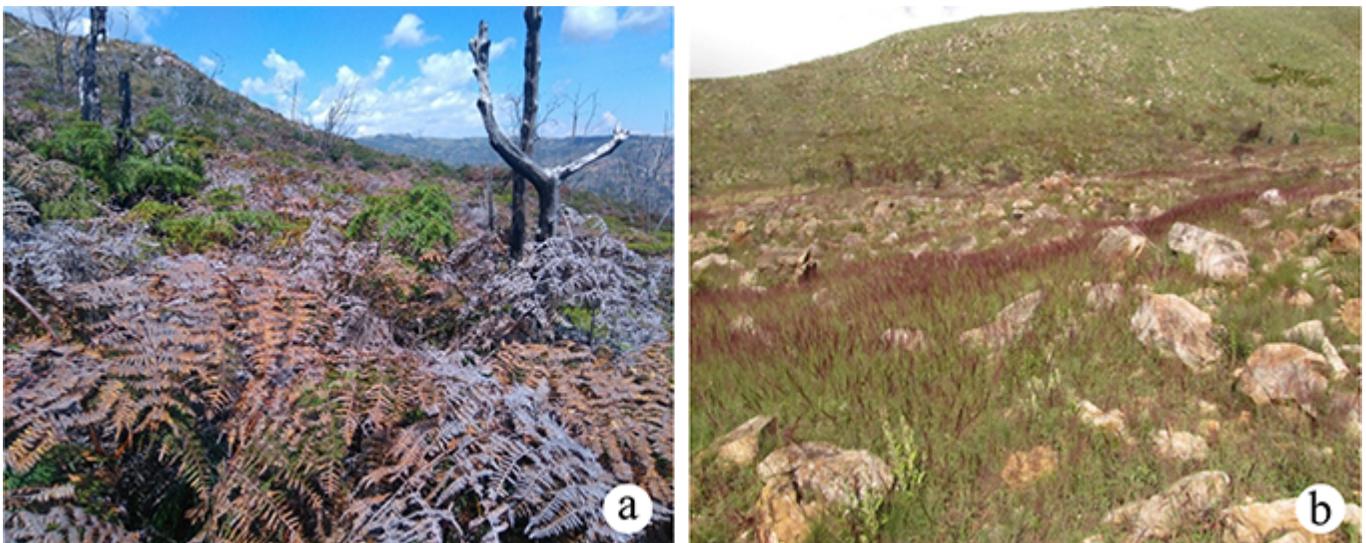


Figura 5. Flora dominante en las zonas del SFF Iguaque afectadas por incendios. **a** *P. aquilinum* y **b** *M. minutiflora*.

de germinación más alta y mostró la mejor tolerancia a las condiciones post-fuego al compararse con otras nueve especies de pastos nativos e invasores en Brasil. Asimismo, para esta especie se ha reportado la alta acumulación de necromasa biomasa, lo que facilita la ocurrencia y propagación de incendios (Martins *et al.* 2017). Por su parte, *P. aquilinum* ha mostrado su máxima prevalencia, cobertura y tasas de crecimiento en zonas que son frecuentemente quemadas, con altos niveles de luz y suelos con poca fertilidad (Suazo-Ortuño *et al.* 2015, Brandão *et al.* 2017). Al igual que *M. minutiflora*, compite con otras especies a partir de una alta tasa de germinación, ésta basada especialmente en plántulas (Silva Matos y Belinato 2010). A su vez, desarrolla rizomas subterráneos resistentes al fuego y produce compuestos alelopáticos que dificultan el establecimiento y el crecimiento de otras especies (Marrs *et al.* 1998, Johnson 2001, Silva Matos y Belinato 2010).

De acuerdo con lo anterior, la relación de factores que aumentan la amenaza de incendios, como las condiciones muy secas y los altos grados de pendiente que favorecen tanto la propagación de incendios como la erosión de los suelos (Poudel *et al.* 1999, Páramo 2007), también contribuyen al establecimiento, naturalización e invasión de *P. aquilinum* y *M. minutiflora*. La frecuencia de incendios se ve incrementada por las características de estas especies como la alta acumulación de biomasa, lo que establece el ciclo pastizales/fuego (D'Antonio y Vitousek 1992) y favorece el dominio de las especies invasoras sobre los ecosistemas sensibles a los incendios.

En cuanto a las posibles afectaciones desde lo ecosistémico, social y económico, la muy alta y alta vulnerabilidad del Santuario (Fig. 4b) evidencian su alta importancia para los sistemas socioecológicos de la región. El Santuario abastece a dos acueductos municipales y once veredales (PNN y Corpoboyacá 2018), a la vez que brinda otros servicios de regulación y culturales como aquellos relacionados con la regulación del clima, la formación y protección de suelos, la reducción de riesgos y fenómenos extremos, el aprendizaje e inspiración y el apoyo a identidades (Morales *et al.* 2007, Aguilar-Garavito *et al.* 2016, Villarreal *et al.* 2017). Sin embargo, aspectos como la acumulación de combustibles, el bajo contenido de humedad en las épocas secas, y el dominio de herbazales en grandes extensiones hacen que la vegetación de sus ecosistemas presente una alta susceptibilidad a los incendios (Vargas 2013). Adicionalmente, el páramo húmedo y el bosque andino han sido

categorizados como ecosistemas sensibles a este tipo de fenómenos ya que naturalmente han inhibido la ignición y propagación del fuego, pero dada su transformación se puede favorecer la ocurrencia de incendios (Armenteras *et al.* 2020).

No obstante, se debe anotar que, pese a la sensibilidad de los páramos frente a este tipo de disturbio, su supresión total puede no ser muy efectiva como medida de manejo, ya que entre otros aspectos, puede favorecer la acumulación de altas cargas de combustible y ocasionar incendios atípicamente extensos y con mayor intensidad bajo condiciones climáticas adversas (Keating 2007, Armenteras *et al.* 2020). En dicho sentido, se resalta la necesidad de conocer mejor la dinámica de los incendios en los ecosistemas del SFFI, de manera que su gestión responda de forma adecuada a la relación de éstos con las comunidades biológicas presentes.

## CONCLUSIONES

El SFF Iguaque representa un área de alta importancia para la región dada la provisión de servicios ecosistémicos a escala local y regional. Sus características ecológicas y culturales hacen que este Parque Natural sea altamente susceptible a verse afectado por incendios de la cobertura vegetal, en especial dada la sensibilidad de los páramos frente a este tipo de fenómenos. Por ello, la comprensión de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo a incendios resulta fundamental para prevenir, atender y mitigar sus impactos. A través de su zonificación es posible orientar de una mejor forma la planeación y manejo del Santuario, de manera que las estrategias definidas deberían priorizar la atención sobre las zonas de mayor riesgo.

No obstante, los procesos de zonificación demandan gran cantidad y calidad de información por lo que se hace necesario mejorar y unificar los sistemas sobre los cuales se reportan los eventos de incendios. Al respecto, la metodología multicriterio propuesta por el IDEAM ofrece una alternativa para abordar su riesgo bajo las limitaciones de la información disponible actualmente, sin embargo, es importante considerar las concepciones posteriores de la teoría del riesgo y gestión de desastres. Junto con lo anterior, el conocimiento de la dinámica de los incendios y su relación con los ecosistemas presentes permitirá orientar de una forma más precisa su gestión y manejo.

## PARTICIPACIÓN DE AUTORES

NMJ concepción y diseño metodológico, trabajo de campo, análisis y escritura del manuscrito; OVR concepción y diseño metodológico, análisis y escritura del manuscrito.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el apoyo brindado por la “Convocatoria nacional de proyectos para el fortalecimiento de la investigación, creación e innovación de la Universidad Nacional de Colombia 2016-2018” de la División de Investigación sede Bogotá (DIB) de la Universidad Nacional de Colombia y del “Programa de Estímulos a la Investigación Thomas van der Hammen” del Jardín Botánico de Bogotá. Asimismo, agradecemos a Parques Nacionales Naturales, los campesinos de la región y los cuerpos de bomberos municipales por permitir y aportar al desarrollo de esta investigación.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## LITERATURA CITADA

- [DANE] Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 2016. Vol. Tomo 2. Bogotá D.C.: 3er Censo Nacional Agropecuario.
- [IAvH] Instituto de Investigación de Recursos biológicos Alexander von Humboldt. 2014. Estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales complejo de páramos Iguaque – Merchán. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt – Fondo Adaptación.
- [IAvH] Instituto de Investigación de Recursos biológicos Alexander von Humboldt. 2017. Recomendación para la delimitación, por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, del Complejo de Páramos Iguaque - Merchán a escala 1:25.000. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt – Fondo Adaptación.
- [IDEAM] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2011. Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal escala 1:100.000. Bogotá D.C.
- [OMM] Organización Meteorológica Mundial. 2018. Guía de prácticas climatológicas. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- [PNN] Parques Nacionales Naturales de Colombia, [Corpoboyacá] Corporación Autónoma Regional de Boyacá. 2018. Resolución PNNC 0535 y Resolución Corpoboyacá 4634 del 24 de diciembre. Por medio de la cual se reglamenta el uso del recurso hídrico de las microcuencas de los ríos Cane, La Cebada, y Leyva, las microcuencas de las quebradas El Roble y Colorada, los canales Españoles y Rosita y sus tributarios, en los municipios de Arcabuco, Chíquiza, Villa de Leyva, y Gachantivá, jurisdicción de Parques Nacionales Naturales de Colombia y Corpoboyacá de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Decreto 1076 de 2015.
- [PNN] Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2006. Plan de Manejo Santuario de Fauna y Flora Iguaque.
- [PNN] Parques Nacionales Naturales de Colombia. 2010. Evaluación de impacto ambiental del incendio presentado en febrero de 2010 en el Santuario de Fauna y Flora Iguaque.
- [TNC] The Nature Conservancy. 2004. El fuego, los ecosistemas y la gente. Una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación. The Nature Conservancy, WWF, UICN.
- [UNISDR] United Nations Office for Disaster Risk Reduction. 2015. Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Sendai, Japón: Naciones Unidas.
- Aguilar-Garavito M, Isaacs P, Núñez O. 2016. Ecología del fuego y caracterización ecológica general de áreas afectadas por incendios de la cobertura vegetal en el Macizo de Iguaque. Villa de Leyva, Boyacá: Instituto de investigación de Recursos biológicos Alexander von Humboldt.
- Alcaldía Municipal de Arcabuco. 2000. Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Arcabuco. Arcabuco.
- Alcaldía Municipal de Arcabuco. 2016. Plan de Desarrollo Municipal “Por nuestro Arcabuco del alma 2016 – 2019”. Arcabuco.
- Alcaldía Municipal de Chíquiza. 2001. Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Chíquiza 2001 - 2009. Chíquiza.
- Alcaldía Municipal de Chíquiza. 2016. Plan de Desarrollo 2016-2019 “Construyendo futuro en familia”. Chíquiza.
- Alcaldía Municipal de Villa de Leyva. 2004. Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Villa de Leyva. Villa de Leyva.
- Alcaldía Municipal de Villa de Leyva. 2016. Plan de Desarrollo 2016-2019 “Primero Villa de Leyva”. Villa de Leyva.
- Anselin L, Getis A. 1992. Spatial statistical analysis and geographic information systems. *Ann. Regional Sci.* 26 (1): 19-33. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01581478>
- Aponte C, de Groot WJ, Wotton BM. 2016. Forest Fires and Climate Change: Causes, Consequences and Management Options. *Int. J. Wildland Fire.* 25 (8): i-ii. doi: [https://doi.org/10.1071/WFv25n8\\_FO](https://doi.org/10.1071/WFv25n8_FO)
- Armenteras D, González TM, Vargas JO, Meza Elizalde MC, Oliveras I. 2020. Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. *Caldasia* 42 (1): 1-16. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>

- Armenteras D, González-Alonso F, Morales M, Parra-Lara A. 2011. Incendios de la cobertura vegetal en Colombia, Tomo I. Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. Incidencia de los incendios forestales sobre la cubierta del suelo en Colombia a partir de información derivada de imágenes Modis del período 2000-2009.
- Birkmann J, McMillan JM. 2020. Linking hazard vulnerability, risk reduction, and adaptation. *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*. doi: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.145>
- Brandão JFC, Martins SV, Brandão IJ, Lopes W. 2017. Ecological Restoration in Area Dominated by *Pteridium Aquilinum* (L.) Kuhn in Caparaó National Park, MG. *Rev. Árvore* 41(1):e 410104. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000100004>
- Cardona OD. 2011. Disaster Risk and Vulnerability: Concepts and Measurement of Human and Environmental Insecurity. En: Günter Brauch H, Oswald Spring U, Mesjasz C, Grin J, Kameiri-Mbote P, Chourou B, Dunay P, Birkmann J, editors. *Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security: Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks*. Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace. Berlin, Heidelberg: Springer. p. 107-121.
- Chuvieco E, Congalton RG. 1989. Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping. *Remote Sens. Environ.* 29(2): 147-159. doi: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90023-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90023-0)
- Cochrane M. 2009. *Tropical fire ecology – Climate change, land use and ecosystem dynamics*. Chichester, Reino Unido: Springer. Fire in the tropics. p. 1-24. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-77381-8_1)
- D'Antonio CM, Vitousek PM. 1992. Biological invasions by exotic grasses, the grass/fire cycle, and global change. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 23 (1): 63-87. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.23.110192.000431>
- Daibes LF, Pausas JG, Bonani N, Nunes J, Silveira FA, Fidelis A. 2019. Fire and Legume Germination in a Tropical Savanna: Ecological and Historical Factors. *Ann. Bot.-London.* 123 (7): 1219-1229. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcz028>
- Desinventar. c2019. Sistema de inventario de efectos de desastres. [Revisada en: 17 Mar 2020] [https://online.desinventar.org/desinventar/#COL-1250694506-colombia\\_inventario\\_historico\\_de\\_desastres](https://online.desinventar.org/desinventar/#COL-1250694506-colombia_inventario_historico_de_desastres)
- Doerr SH, Santín C. 2016. Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. *Philos. T. R. Soc. B.* 371 (1696): 20150345. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0345>
- Fandiño M. 1996. A framework for ecological evaluation oriented at the establishment and management of protected areas a case study of the Santuario de Iguaque, Colombia. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- Farfán S, Jiménez C. 2005. Estudio comparativo de la vegetación y algunos atributos edáficos entre las áreas quemada y no quemada en una zona de bosque altoandino del Santuario de Fauna y Flora de Iguaque, Boyacá-Colombia. [Tesis]. [Tunja]: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Forero A. 2016. Identificación del riesgo por incendios forestales en el municipio de villa de Leyva, Boyacá a través de un Sistema de Información Geográfica y percepción remota como complemento al Plan de Atención y Prevención de Desastres y Gestión del Riesgo Municipal. [Tesis]. [Bogotá D.C.]: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Fuchs S, Kuhlicke C, Meyer V. 2011. Editorial for the Special Issue: Vulnerability to Natural Hazards—the Challenge of Integration. *Nat. Hazards* 58 (2): 609-619. doi: <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9825-5>
- Golejji E, Hosseini SM, Khorasani N, Monavari SM. 2017. Forest Fire Risk Assessment-an Integrated Approach Based on Multicriteria Evaluation. *Environ. Monit. Assess.* (12): 1-9. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6225-7>
- Gonzalez-Caban A. 2013. The Economic Dimension of Wildland Fires. En: Goldammer JG, editor. *Vegetation Fires and Global Change – Challenges for Concerted International Action*. A White Paper Directed to the United Nations and International Organizations. Remagen-Oberwinter, Alemania: Kassel Publishing House. p. 229-37.
- Guha-sapir D, Below R, Hoyois P. c2020. EM-DATA: International Disaster Database. Bruselas, Bélgica. [Revisada en: 18 Mar 2020] <http://www.emdat.be>
- Hardesty J, Myers R, Fulks W. 2005. Fire, Ecosystems & People - A Preliminary Assessment of Fire as a Global Conservation Issue. *GWS.* 22 (4): 78-87.
- He T, Belcher CM, Lamont B, Lim SL. 2016. A 350-Million-Year Legacy of Fire Adaptation among Conifers. *J. Ecol.* 104 (2): 352-63. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12513>
- Johnson PN. 2001. Vegetation recovery after fire on a southern New Zealand peatland. *New Zeal. J. Bot.* 39 (2): 251-67. doi: <https://doi.org/10.1080/0028825X.2001.9512736>
- Kanga S, Tripathi G, Singh SK. 2017. Forest Fire Hazards Vulnerability and Risk Assessment in Bhajji Forest Range of Himachal Pradesh (India): A Geospatial Approach. *JoRSG.* 8 (1): 25-40. doi: <https://doi.org/10.1353/lag.2007.0003>
- Keating PL. 2007. Fire Ecology and Conservation in the High Tropical Andes: observations from Northern Ecuador. *J. Lat. Am. Geogr.* 6 (1): 43-62. doi: <https://doi.org/10.1071/WF18203>
- Keeley JE, Pausas JG. 2019. Distinguishing Disturbance from Perturbations in Fire-Prone Ecosystems. *Int. J. Wildland Fire* 28 (4): 282-87. doi: <https://doi.org/10.1071/WF18203>
- Lambin EF, Meyfroidt P. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *P. Natl. Acad. Sci. Usa* 108 (9): 3465-72. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>
- Marrs RH, Johnson SW, Le Duc MG. 1998. Control of Bracken and Restoration of Heathland. VIII. The Regeneration of the Heathland Community after 18 Years of Continued Bracken Control or 6 Years of Control Followed by Recovery. *J. Appl. Ecol.*

- 35 (6): 857-870. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.1998.tb00004.x>
- Martins CR, Hay J, Scaléa M, Malaquias JV. 2017. Management Techniques for the Control of *Melinis Minutiflora* P. Beauv. (Molasses Grass): Ten Years of Research on an Invasive Grass Species in the Brazilian Cerrado. *Acta Bot. Bras.* 31 (4): 546-54. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-33062016abb0433>
- Matin MA, Chitale VS, Murthy MSR, Uddin K, Bajracharya B, Pradhan S. 2017. Understanding forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, Geographic Information System and historical fire data. *Int. J. Wildland Fire* 26 (4): 276-86. doi: <https://doi.org/10.1071/WF16056>
- McBreen J. 2016. Regional Assessment on Ecosystem-based Disaster Risk Reduction and Biodiversity in South America. A report for the Resilience through Investing in Ecosystems – knowledge, innovation and transformation of risk management (RELIEF Kit) project. International Union for Conservation of Nature.
- Miller RG, Tangney R, Enright N, Fontaine J, Merritt D, Ooi M, Ruthrof KX, y Miller BP. 2019. Mechanisms of Fire Seasonality Effects on Plant Populations. *Trends Ecol. Evol.* 34 (12): 1104-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.07.009>
- Morales M, Otero J, Van der Hammen T, Torres A, Cadena C, Pedraza C, Franco C, Betancourth JC, Olaya E, Posada E, Cárdenas L. 2007. Atlas de páramos de Colombia. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Musso C, Miranda HS, Aires SS, Bastos AC, Soares A, Loureiro S. 2015. Simulated post-fire temperature affects germination of native and invasive grasses in cerrado (brazilian savanna). *Plant. Ecol. Divers.* 8 (2): 219-27. doi: <https://doi.org/10.1080/17550874.2014.910714>
- Pabón-Caicedo JD, Ycaza RP, Friend F, Espinoza D, Fenzl N, Apostolova M. 2018. Vulnerabilidad de la cuenca amazónica ante fenómenos hidroclimáticos extremos. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía 27 (1): 27-49. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/rcdg.v27n1.56027>
- Páramo G. 2007. Análisis, diagnóstico y elaboración del mapa de susceptibilidad a los incendios de la cobertura vegetal en Colombia. Bogotá D.C.: Contrato de Consultoría No. 2062372 (MAVDT-FONADE). Informe Final.
- Poudel DD, Midmore DJ, West LT. 1999. Erosion and Productivity of Vegetable Systems on Sloping Volcanic Ash-Derived Philippine Soils. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 63 (5): 1366-1376. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6351366x>
- Puentes J. 2015. Caracterización del componente vegetal de las áreas afectadas por incendios en el mes de agosto en el SFF de Iguaque y su zona de influencia.
- Randerson JT, Chen Y, van der Werf GR, Rogers BM, Morton DC. 2012. Global Burned Area and Biomass Burning Emissions from Small Fires. *J. Geophys. Res.-Biogeo.* 117 (G4). doi: <https://doi.org/10.1029/2012JG002128>
- Rossi S, Tubiello F, Prospero P, Salvatore M, Jacobs H, Biancalani R, House JI, Boschetti L. 2016. FAOSTAT Estimates of Greenhouse Gas Emissions from Biomass and Peat Fires. *Climatic Change* 135 (3): 699-711. doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1584-y>
- Scott AC. 2000. The Pre-Quaternary History of Fire. *Palaeogeogr. Palaeocl.* 164 (1-4): 281-329. doi: [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00192-9](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00192-9)
- Shlisky A, Waugh J, Gonzalez P, Gonzalez M, Manta M, Santos H, Alvarado E, Ainuddin A, Rodríguez-Trejo DA, Swaty R, Schmidt D, Kaufmann M, Myers R, Alencar A, Kearns F, Johnson D, Smith J, Zollner, D, Fulks W. 2007. Fire, Ecosystems and People: Threats and Strategies for Global Biodiversity Conservation. GFI Technical Report 2007-2. Arlington, VA: The Nature Conservancy.
- Silva Matos DM, Belinato TA. 2010. Interference of *Pteridium arachnoideum* (Kaulf.) Maxon. (Dennstaedtiaceae) on the Establishment of Rainforest Trees. *Braz. J. Biol.* 70 (2): 311-316. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842010000200012>
- Simon M, Plummer S, Fierens F, Hoelzemann JJ, Arino O. 2004. Burnt Area Detection at Global Scale Using ATSR-2: The GLOBSCAR Products and Their Qualification. *J. Geophys. Res.-Atmos.* 109 (D14). doi: <https://doi.org/10.1029/2003JD003622>
- Suazo-Ortuño I, Lopez-Toledo L, Alvarado-Díaz J, Martínez-Ramos M. 2015. Land-use Change Dynamics, Soil Type and Species Forming Mono-dominant Patches: the Case of *Pteridium aquilinum* in a Neotropical Rain Forest Region. *Biotropica* 47 (1): 18-26. doi: <https://doi.org/10.1111/btp.12181>
- Tepley AJ, Thomann E, Veblen T, Perry G, Holz A, Paritsis J, Kitzberger T, Anderson-Teixeira K. 2018. Influences of fire-vegetation feedbacks and post-fire recovery rates on forest landscape vulnerability to altered fire regimes. *J. Ecol.* 106 (5): 1925-1940. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12950>
- Vargas JO. 2013. Disturbios en los páramos andinos. En: Cortés-Duque J, Sarmiento C, editores. Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. p. 39-57.
- Villarreal H, Núñez M, Zorro W, Pachecho C. 2017. Plan de Manejo del Santuario de Fauna y Flora Iguaque. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- You W, Lin L, Wu L, Ji Z, Yu J, Zhu J, Fan Y, He D. 2017. Geographical Information System-Based forest fire risk assessment integrating national forest inventory data and analysis of its spatiotemporal variability. *Ecol. Indic.* 77 (junio): 176-184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.042>