EFECTO DE FACTORES ANTRÓPICOS EN LA OCURRENCIA DE INCENDIOS DEL BOSQUE SECO TROPICAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA

Presentado por:

Daniel Felipe Ramirez Gonzalez
Ingeniero Forestal

Dirigido por:

PhD. Biol. Angela Parrado Rosselli
Directora

MSc. Ing. Julián Diaz Timote
Codirector

Maestría en Manejo, Uso y Conservación del Bosque

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Universidad Distrital Francisco José de Caldas



2020

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO ÚNICO 1

EFECTO DE FACTORES ANTRÓPICOS EN LA OCURRENCIA DE INCENDIOS DEL BOSQUE SECO TROPICAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA 1

RESUMEN 1

I. INTRODUCCIÓN 2

II. MATERIALES Y MÉTODOS 6

2.1. Área de estudio 6

2.2. Recolección de datos 8

2.3. Análisis de datos 11

III. RESULTADOS 14

IV. DISCUSIÓN 20

4.1. Factores antrópicos asociados a incendios 20

4.2. Recomendaciones para la gestión del fuego 23

V. CONCLUSIONES 27

VI. AGRADECIMIENTOS 29

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables independientes de origen antrópico abordadas en este estudio. 9

Tabla 2. Clases de tamaño para predios rurales, número de predios por clase, área y número de incendios para los municipios de Coello y Ortega. 17

Tabla 3. Resumen estadístico del modelo de regresión logística para la ocurrencia de incendios en el municipio de Coello empleando variables de origen antrópico (ap: área de predio, dcp: distancia a centros poblados, ddr: distancia a drenajes, dre: distancia a redes eléctricas, dv: distancia a vías, upa: porcentaje de producción agropecuaria; N=74). 18

Tabla 4. Resumen estadístico del modelo de regresión logística para la ocurrencia de incendios en el municipio de Ortega empleando variables de origen antrópico (ap: área de predio, dre: distancia a redes eléctricas, dv: distancia a vías, upa: porcentaje de producción agropecuaria; N=180). 19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio y densidad de focos de incendio por km^2 (escala 1:380.000) obtenidos a través del sensor MODIS en su colección 6-MCD14DL de los satélites Aqua y Terra. 7

Figura 2. Número de incendios ocurridos en los municipios de Coello (superior) y Ortega (inferior) para el periodo 2001-2018 (N=36). 14

Figura 3. Análisis de componentes principales para la ocurrencia de incendios en los municipios de Coello y Ortega, periodo 2005-20018 (elipses: intervalo de confianza del 95%; círculos rellenos: años para Coello, círculos vacíos: años para Ortega; ca: cultivos anuales, cp: cultivos permanentes, ct: cultivos transitorios, hxa: habitantes por año, incxa: incendios por año; N=28). 15

Figura 4. Análisis de componentes principales para la ocurrencia de incendios a nivel veredal en los municipios de Coello (izquierda) y Ortega (derecha) (cuadrados: veredas de cada municipio; av: área vereda, denv: densidad vial, hxv: habitantes por vereda, incxv: número de incendios por vereda, upa: porcentaje de producción agropecuaria, upna: porcentaje de producción no agropecuaria; N=106). 16

Figura 5. Análisis de componentes principales para focos de incendios y variables antrópicas en los municipios de Coello (izquierda) y Ortega (derecha) (triángulos: focos de incendio en cada municipio; ap: área de predio, cob: tipo de cobertura, dcp: distancia a centros poblados, ddr: distancia a drenajes, denv: densidad vial, dre: distancia a redes eléctricas, dv: distancia a vías, numinc: número de incendios, hxv: habitantes por vereda, upa: porcentaje de producción agropecuaria; N=127). 17

CAPITULO ÚNICO

EFECTO DE FACTORES ANTRÓPICOS EN LA OCURRENCIA DE INCENDIOS DEL BOSQUE SECO TROPICAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO MAGDALENA

RESUMEN

Los bosques secos han estado históricamente asociados a la presencia de incendios, debido a una alta acumulación de biomasa, a las condiciones de clima y a una creciente presión antrópica. Las comunidades humanas asociadas a los ecosistemas/bosques secos han generado una alteración en los regímenes de fuego propios de estos ecosistemas, principalmente ocasionados por una mayor densidad poblacional y la expansión de las fronteras agropecuaria y urbana. En este sentido, esta investigación evalúa el efecto de factores antrópicos en la ocurrencia de incendios en zonas del bosque seco tropical de la cuenca alta del Río Magdalena, en dos municipios en los que se ha registrado una muy alta frecuencia de incendios para el periodo 2001-2018. Para tal fin, en los municipios de Coello y Ortega, en el departamento del Tolima, se analizaron 15 variables de origen antrópico potencialmente explicativas de incendios con base en información secundaria y primaria. Posteriormente se espacializaron aquellas variables que lo permitieron a través de sistemas de información geográfica y se relacionaron con el número y ubicación de incendios, tanto a nivel de municipio y vereda, empleando un análisis de componentes principales. El número de incendios se obtuvo a partir de los datos de anomalías térmicas capturados por el sensor MODIS en su colección 6-MCD14DL de los satélites Aqua y Terra. Adicionalmente se realizó un modelo espacialmente explicito entre los focos de incendio y las variables a través de un modelo lineal logístico generalizado (MGL). Se encontró que para el periodo 2001-2018 se presentaron un total de 435 incendios en los dos municipios. Se evidenció una alta relación entre el número de incendios con el número de habitantes y las áreas sembradas para cultivos transitorios, no se encontró relación con actividades de ganadería. A nivel espacial, aunque se encontraron variaciones entre los municipios, se encontró una alta relación entre los focos de incendio con el área predial, la distancia a infraestructuras (*i.e.* centros poblados, redes eléctricas, vías) y la producción agrícola. Esta investigación muestra la importancia de trabajar a escala municipal en la gestión del riesgo y planificación del territorio debido a las diferencias entre sitios a nivel económico, social, cultural y de desarrollo. Adicionalmente, este estudio aporta elementos teóricos para aquellos tomadores de decisiones vinculados al uso, manejo, conservación y restauración de los bosques secos tropicales del país.

Palabras clave: agricultura, área predial, cultivos transitorios, gestión del riesgo, infraestructura, población, quemas, redes eléctricas, vías.

I. INTRODUCCIÓN

El fuego es un disturbio que afecta los procesos ecológicos de muchos ecosistemas(Argañaraz et al., 2016; Duguy, 2004; Lloret, 2003; Pausas & Ribeiro, 2017). De acuerdo con el régimen natural del fuego, los ecosistemas se han clasificado en dependientes, independientes, influenciados o sensibles al fuego (Harbour, 2008; Pausas & Ribeiro, 2017; Shlisky et al., 2007). Sin embargo, la actividad humana ha alterado dicho régimen natural, bien sea suprimiendo o introduciendo el fuego en sitios que históricamente estaban sujetos o eran ajenos a este disturbio, respectivamente (Chergui et al., 2018; Martínez et al., 2009; Moreno et al., 2014; Pausas & Fernández-Muñoz, 2012). Dentro de los factores de origen antrópico que han alterado el régimen de incendios se resaltan las actividades agropecuarias, el desarrollo urbano y de infraestructura (*e.g.* redes eléctricas, redes de comunicación, vías), la cacería y la extracción de recursos naturales (*e.g.* madera, leña, productos forestales no maderables; (Archibald, 2016; Chergui et al., 2018; Moreira et al., 2011; Oliveira et al., 2017; Rodrigues et al., 2014).

Sumado a lo anterior, como causa subyacente se encuentran las dinámicas poblacionales, en donde procesos migratorios producto de dinámicas sociales, culturales y económicas generan, por un lado, el abandono del territorio y, por otro, el retorno a prácticas agrícolas y ganaderas que pueden causar la aparición de nuevos incendios (Balch et al., 2017; Chergui et al., 2018; Pausas & Fernández-Muñoz, 2012; Shlisky et al., 2007). Por ejemplo, en países como España y Portugal se ha encontrado que el abandono de tierras agrícolas y ganaderas por migración a las ciudades ha ocasionado una acumulación de combustibles que tiende a aumentar la probabilidad de ignición y generar más facilidades para la propagación y ocurrencia de fuegos de alta intensidad, sobre todo en ecosistemas que históricamente han sido influenciados por el fuego (Oliveira et al., 2017; Pausas & Fernández-Muñoz, 2012; Wigtil et al., 2016). En caso contrario, en lugares como Brasil, Chile y Argentina, las dinámicas poblacionales y el cambio en el uso del suelo han transformado el paisaje y han generado paisajes altamente inflamables, en los que el antiguo mosaico de tierras agrícolas, cordilleras y bosques, ha sido reemplazado por un mosaico de tierras excesivamente utilizadas o sin uso, bien conectadas y altamente inflamables (Bravo, 2010; de La Barrera et al., 2018; Laurance, 2003; Montalba & Stephens, 2014; Pivello, 2011). Por otro lado, en diferentes zonas de África se ha demostrado que la transformación de las áreas de sabanas en tierras de cultivo

ha tenido influencia en el número de igniciones que desencadenan incendios forestales, lo que ha afectado el total de área quemada durante las épocas de mayor actividad del fuego (Andela & van der Werf, 2014; Archibald, 2016).

En el caso de los bosques secos tropicales, estos han estado sometidos a la influencia del fuego desde periodos prehispánicos (Castillo et al., 2003; Laurance, 2003; Pausas & Ribeiro, 2017; Stan & Sanchez-Azofeifa, 2019). Hay evidencias de ocurrencia de fuego en algunos bosques secos tropicales de Colombia y Bolivia entre 5000 y 4000 AP (Berrio et al., 2000, 2002; Romero-Ruiz et al., 2012; Taylor et al., 2010). Las causas de estos incendios han estado asociadas tanto a causas naturales asociadas a la alta estacionalidad climática (sequias marcadas), alta acumulación de biomasa y tormentas eléctricas, o por causas antropogénicas, debido a que son áreas muy productivas que sustentan una población de casi un billón de personas en el mundo, quienes obtienen alimentos, forraje, bienes y energía de estos paisajes (Gonzalez-M. et al., 2018; Pizano & Garcia, 2014). En Brasil, por ejemplo, en la región del Cerrado, los bosques secos han sido utilizados principalmente en actividades ganaderas, y, por ende, han estado permanentemente sometidos a actividades de roza y quema (Pivello, 2011). En Argentina y Chile, se ha evidenciado la presencia del fuego relacionada con la obtención de recursos del bosque (*e.g.* cacería, madera, leña) y actividades agrícolas principalmente por parte de culturas indígenas, quienes también utilizan prácticas de roza y quema para la mejora de los suelos y su productividad (Burry et al., 2018; Lindskoug, 2016; Montalba & Stephens, 2014).

Al igual que en los bosques secos tropicales del mundo, en Colombia, el fuego en los bosques secos tropicales ha sido reportado desde períodos prehispánicos (Berrio et al., 2000, 2002; Drexler, 2007). Sin embargo, desde la llegada de los españoles el uso del fuego ha ido en aumento, hasta llegar a la relación actual basada en la mejora de la productividad de los suelos y, en ese sentido, un aumento en la frecuencia de fuegos en estos ecosistemas (Armenteras et al., 2011; Drexler, 2007; Flórez Guzmán et al., 2017; Merino-De-Miguel et al., 2011). Por estas mismas razones, el bosque seco tropical colombiano, definido con base en Pizano & Garcia (2014) como un bioma forestal que ocurre en tierras bajas de zonas tropicales que se caracteriza por presentar una estacionalidad marcada de lluvia con varios meses de sequía, es uno de los ecosistemas más amenazados, pues cubría más de nueve millones de hectáreas, de las cuales en la actualidad apenas quedan un 8% (Gonzalez-M. et al., 2018; Pizano & Garcia, 2014), y donde los incendios son una

de las perturbaciones más importantes, principalmente asociados a prácticas de uso agropecuario (Armenteras et al., 2009, 2011; Gonzalez-M. et al., 2018; Pizano & Garcia, 2014). Sin embargo, además de las actividades agrícolas, el efecto real de otras variables explicativas en los incendios de los bosques secos ha sido muy poco estudiado (Armenteras et al., 2009, 2011; Merino-De-Miguel et al., 2011), incluyendo las dinámicas poblacionales y económicas de la región (Mejía Quesada, 2017; Rivera Ospina, 2019).

Generalmente, los análisis entre causas antrópicas y la ocurrencia de incendios se realizan a escalas regionales, sin tener en cuenta el posible cambio de estas causas y sus relaciones, tanto a escalas espaciales como temporales (Costafreda-Aumedes et al., 2017; González-Olabarria et al., 2011). Según algunos autores el problema del uso de escalas regionales es que tiende a generalizar los procesos y causas que logran explicar la ocurrencia de incendios en determinado lugar (González-Olabarria et al., 2011; Knorr et al., 2014; Rodrigues et al., 2016). Por otro lado, aproximaciones desde escalas locales permiten abordar los diversos factores asociados a los diferentes tipos de comunidades locales (*e.g.* indígenas, campesinos) y su relación con los incendios, en donde estas relaciones dependen de los tipos de cobertura del suelo, las actividades económicas y condiciones socioculturales, factores que van a tener una amplia variación de un lugar a otro (Costafreda-Aumedes et al., 2017; Oliveira & Luís, 2020). Por lo tanto, en términos de gestión del riesgo y planificación del territorio, sería fundamental identificar la relación existente entre diferentes variables de origen antrópico con la presencia y frecuencia de los incendios, más aún en escenarios de cambio climático en los que su incidencia tiende a aumentar (Abatzoglou & Williams, 2016; Costafreda-Aumedes et al., 2017; Pausas & Ribeiro, 2017).

En el caso particular de los bosques secos de la cuenca alta del río Magdalena, que comprende los departamentos de Huila, Tolima y una pequeña parte de Cundinamarca. Díaz-Timoté (2019) encontró más de 400 focos de incendios entre los años 2001–2018, así como también evidenció un gran porcentaje de áreas de bosque seco en donde ningún o sólo un incendio ocurrió en ese periodo de tiempo. En contraste, también encontró áreas de bosque seco con una alta frecuencia de incendios en donde se ocurrieron hasta cinco incendios en un mismo punto durante un periodo de 18 años. Aunque Díaz-Timoté (2019) encontró una fuerte relación con la estacionalidad climática y la intensidad de la estación seca, posiblemente las muy altas frecuencias en algunas zonas pueden

ser producto de las dinámicas sociales y económicas locales (Archibald, 2016; Chergui et al., 2018; Oliveira & Luís, 2020; Pausas & Fernández-Muñoz, 2012).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de factores antrópicos en la ocurrencia de incendios en los bosques secos tropicales de la cuenca alta del Río Magdalena, en los municipios reportados por Díaz-Timoté (2019) como los de mayor frecuencia de incendios durante el periodo 2001-2018, que son Coello y Ortega. Para tal fin, se analizaron una serie de variables explicativas agrupadas en: poblacionales, económicas, de infraestructura y de cobertura para cada municipio y se relacionaron con los focos de incendio registrados para el 2001-2018. Teniendo en cuenta la importancia de la roza y quema en las actividades agropecuarias, nuestra hipótesis es que para estos dos municipios la ganadería y la agricultura sean los factores principalmente relacionados con la ocurrencia de incendios. Conociendo la precariedad de los sistemas de supresión de incendios, lo precario del sistema de bomberos voluntarios del país y por ende lo difícil que es extinguir incendios, la información generada en este documento puede dar lineamientos para una mejor prevención, atención y manejo de incendios forestales, ya que es necesario identificar actores y causas concretas dentro de cada territorio para una adecuada gestión de incendios, dejando de lado la generalización y estigmatización históricas hacia los campesinos y sus actividades agropecuarias como los principales causantes del incremento de los incendios en áreas rurales. Esta investigación hace parte de una línea de trabajo del grupo de investigación "Uso y Conservación de la Diversidad Forestal" y de la maestría en Manejo, Uso y Conservación del Bosque de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, enfocada en la capacidad de los bosques secos de regenerarse ante los incendios. En el marco de esta línea se han desarrollado desde diferentes perspectivas subproyectos de maestría y pregrado. Así, la investigación aquí planteada pretende aportar a esta área desde los aspectos antrópicos que inciden sobre los incendios de los bosques secos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de estudio corresponde a los bosques secos tropicales de los municipios de Coello (340 km²) y Ortega (945 km²), ubicados en el departamento del Tolima, en la cuenca alta del río Magdalena, Colombia (Fig. 1). Con base en Díaz-Timoté (2019), en los municipios de Coello y Ortega se registraron zonas con frecuencias de tres a cinco incendios entre 2001 y 2018 que son mucho más altas de las tendencias generales reportadas para la zona. Según Pizano & Garcia (2014) en la cuenca alta del río Magdalena se encuentran 109974 ha (70,6%) de bosque seco, de las cuales 43479 ha corresponden a bosque seco primario/primigenio (39.5%). La jurisdicción completa de los dos municipios se encuentra en la zona de vida correspondiente a la de bosque seco tropical (Gonzalez-M. et al., 2018; Pizano & Garcia, 2014). Así, el municipio de Coello cuenta con 16,3 km^2 de área de bosque seco tropical, mientras que Ortega cuenta con 62,2 km^2 (Díaz-Timoté, 2019). Para Coello la temperatura media anual es de 28°C, con una precipitación promedio de 1293 mm por año y una estación seca marcada entre agosto y octubre (Alcaldía Municipal de Coello, 2016), mientras que en Ortega la temperatura media es de 26°C y la precipitación anual es de 1592 mm, con una estación seca entre septiembre y noviembre (Alcaldía Municipal de Ortega, 2016).

Estos dos municipios son predominantemente rurales, en donde en Coello, el área rural corresponde al 99,88% (339,5 km^2) (Alcaldía Municipal de Coello, 2016), mientras que en Ortega esta corresponde al 99,49% del municipio (940,2 km^2) (Alcaldía Municipal de Ortega, 2016). Las principales actividades económicas de estos dos municipios corresponden a actividades de agricultura y ganadería (Hernández-Gamarra & Barreto-Nieto, 2013). En cuanto a la agricultura, los principales cultivos son de ahuyama, ajonjolí, arroz de riego, maíz, arveja, cilantro, frijol, habichuela, hortalizas varias, lechuga, patilla, pepino cohombro, repollo, sorgo, tomate y zanahoria (Agronet, 2019; Hernández-Gamarra & Barreto-Nieto, 2013). Las áreas de siembra de dichos cultivos van desde las 20 ha hasta las 105 ha, con rendimientos de entre 0,5 toneladas por hectárea y 38 toneladas por hectárea, dependiendo del cultivo y la ubicación de este (Agronet, 2019) . En

cuanto a ganadería, se destaca el ganado vacuno para la producción de carne y de leche, y en menor medida la utilización de ganados ovinos, caprinos, y porcinos (Agronet, 2019).

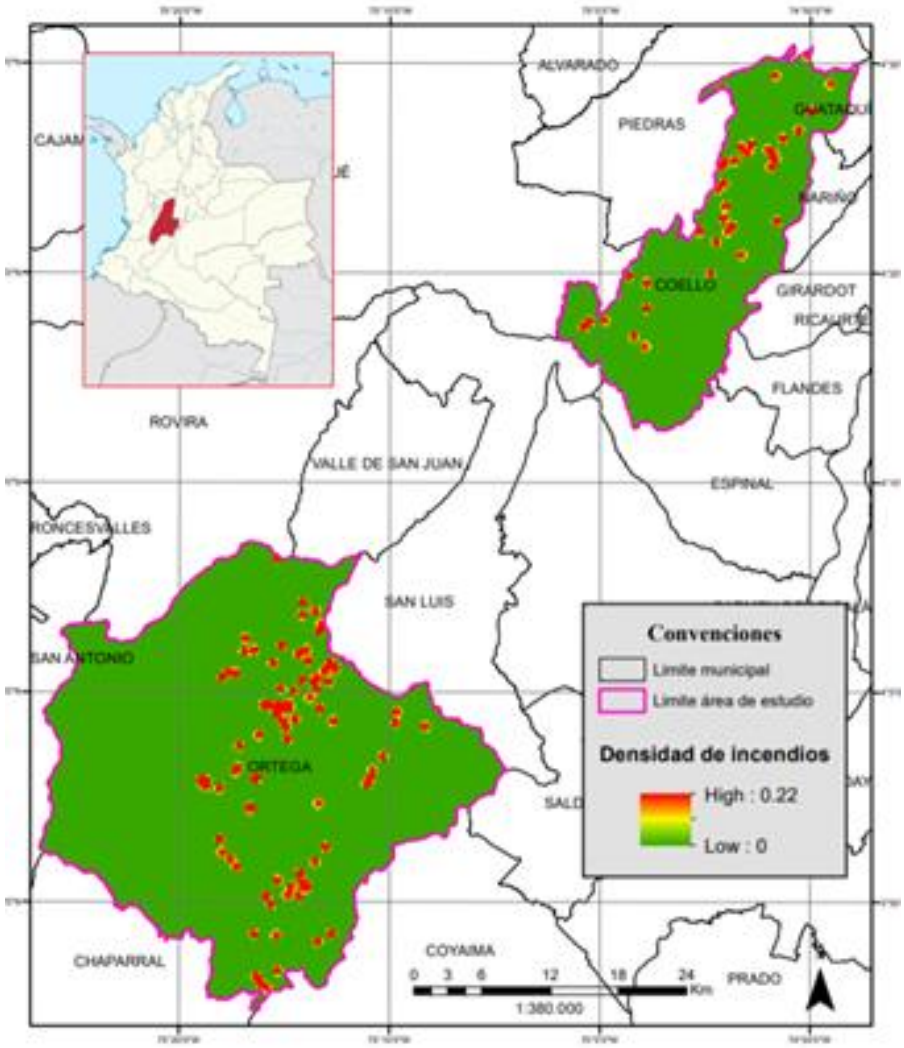


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio y densidad de focos de incendio por km^2 (escala 1:380.000) obtenidos a través del sensor MODIS en su colección 6-MCD14DL de los satélites Aqua y Terra.

Dada su actividad económica tanto Coello como Ortega han estado sometidos a presiones antrópicas que han podido influenciar la ocurrencia de incendios forestales (Hernández-Gamarra & Barreto-Nieto, 2013; Pizano & Garcia, 2014). En términos de incendios forestales, ambos municipios presentan una gran cantidad de incendios forestales cada año, para el año 2019 Coello reporto un total de 1539 ha quemadas, mientras que Ortega registro un total 6662 ha (Ramirez-Gonzalez, datos no publicados). Cabe resaltar que estas conflagraciones se presentan

principalmente sobre áreas boscosas y suelos agrícolas, y debido a la poca disponibilidad de bomberos son muy difíciles de controlar, aunque no han generado pérdidas humanas en algunos casos llegan a afectar viviendas (Alcaldía Municipal de Coello, 2016; Alcaldía Municipal de Ortega, 2016). Lo anterior, sumado a las actividades económicas de la región, que, aunque no están cuantificadas en términos monetarios, si generan perdidas a los finqueros/productores y al poco bosque seco tropical que queda en la región, incidiendo así en los índices de desarrollo de ambos municipios, y por ende del departamento (Alcaldía Municipal de Coello, 2016; Alcaldía Municipal de Ortega, 2016).

2.2. Recolección de datos

La información sobre los focos de incendio y la frecuencia durante el periodo 2001-2018 se obtuvo a partir de los datos de anomalías térmicas capturados por el sensor MODIS en su colección 6-MCD14DL de los satélites Aqua y Terra disponibles en la plataforma FIRMS (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov). Estos son proporcionados por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA), cuentan con una resolución de 250 m (bandas 1–2), 500 m (bandas 3–7), 1 km (bandas 8–36) y fueron depurados por Díaz-Timoté (2019). Los focos de incendio corresponden a las áreas que presentan una temperatura de superficie anómala, el foco de incendio representa el centroide de un píxel de 1 km^2, y en la mayoría de los casos se asocia la presencia de un foco a la existencia potencial de un fuego o incendio (Díaz-Timoté, 2019).

En segundo lugar, se seleccionaron como potenciales variables explicativas (independientes) de la ocurrencia de incendios 15 variables antropogénicas (Tabla 1). No se seleccionaron variables ambientales, pues Díaz-Timoté (2019) en la misma zona de estudio encontró una asociación del 80% de la severidad de la estación seca con la ocurrencia de incendios. Estas variables antropogénicas se clasificaron en poblacionales, económicas, de infraestructura y de cobertura. Los datos de estas variables se obtuvieron para el periodo 2005–2018 de acuerdo con la disponibilidad de información.

Tabla 1. Variables independientes de origen antrópico abordadas en este estudio.

Variable	Código	Descripción	Unidades	Fuente información	Referencias
Población					
Habitantes por año	Hxa	Número de habitantes presentes en un municipio (2005-2018)	Habitantes/año	(DANE, 2019)	(Chas-Amil et al., 2015; Chergui et al., 2018; Mancini et al., 2018; Pausas & Fernández-Muñoz, 2012)
Habitantes por vereda	Hxv	Número de habitantes presentes en cada vereda	Habitantes/ vereda	(DANE, 2017)	
Tamaño vereda	Av	Área de tierra que pertenece a una única vereda	Ha	(IGAC, 2019)	(Mancini et al., 2018; Viedma et al., 2015)
Tamaño de predio	Ap	Área de tierra perteneciente a uno o más persona	Ha	(IGAC, 2019)	
Actividades económicas					
Cultivos anuales	Ca	Área sembrada en cultivos anuales (2005-2018)	Ha	(Agronet, 2019)	(Chas-Amil et al., 2015; Chergui et al., 2018; González-Olabarria et al., 2015; Mancini et al., 2018; Martínez et al., 2009; Moreira et al., 2011; Oliveira et al., 2017)
Cultivos permanentes	Cp	Área sembrada en cultivos permanentes (2005-2018)	Ha	(Agronet, 2019)	
Cultivos transitorios	Ct	Área sembrada en cultivos transitorios (2005-2018)	Ha	(Agronet, 2019)	
Producción agropecuaria	Upa	Porcentaje de producción agropecuaria a nivel veredal	%	(DANE, 2017)	(Chergui et al., 2018; González-Olabarria et al., 2015; Martínez et al., 2009; Moreira et al., 2011; Oliveira et al., 2017)
Producción NO agropecuaria	Upna	Porcentaje de producción NO agropecuaria a nivel veredal	%	(DANE, 2017)	
Distancia a drenajes	Ddr	Distancia euclidiana generada a partir de cada drenaje hacia los demás	m	(IGAC, 2019)	(Mancini et al., 2018; Oliveira et al., 2017)
Infraestructura					
Distancia a centros poblados	Dcp	Distancia euclidiana generada a partir de cada centro poblado hacia los demás	m	(IGAC, 2019)	(Chas-Amil et al., 2015; Mancini et al., 2018; Oliveira et al., 2017; Syphard et al., 2017)
Distancia a redes eléctrica	dre	Distancia euclidiana generada a partir de	m	(UPME, 2019)	(Syphard et al., 2017)

		cada red eléctrica hacia las demás			
Distancia a vías	Dv	Distancia euclidiana generada a partir de cada vía existente hacia las demás	m	(IGAC, 2019)	(Chas-Amil et al., 2015; Syphard et al., 2017)
Densidad vial	Denv	Razón entre las vías (Km) presentes en una vereda y su área total (Km^2)	Km/Km^2	(IGAC, 2019)	(Chas-Amil et al., 2015; Mancini et al., 2018; Martínez et al., 2009; Oliveira et al., 2017)
Coberturas					
Tipo de cobertura	Cob	Tipo de cobertura presente en un área	Categórica	(IDEAM, 2010; USGS, 2019)	(Aráoz & Grau, 2010; Chuvieco et al., 2014; Martínez et al., 2009; Moreira et al., 2011)

Población: La información correspondiente al número de habitantes por cada municipio para el periodo 2005-2018 se obtuvo de las bases de datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), a través de las Proyecciones de población 2005-2020 nacional, departamental y municipal por sexo (DANE, 2019). El número de habitantes por vereda se obtuvo a través de las bases de datos del Tercer Censo Nacional Agropecuario realizado por el DANE, rescatando exclusivamente la información de nivel veredal para los municipios de Coello y Ortega (DANE, 2017). La información correspondiente al tamaño de predio se obtuvo de los datos abiertos al público de la Subdirección de Catastro del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), esta información corresponde tanto a bases de datos como a información cartográfica (IGAC, 2019). Adicionalmente, los predios de cada municipio se clasificaron por clases de tamaño de acuerdo con su área en hectáreas, empleando el método de cortes naturales de Jenks y usando sistemas de información geográfica (ESRI, 2019; Moreira et al., 2011; Viedma et al., 2015).

Actividades económicas: La información sobre las diferentes áreas sembradas para los cultivos anuales (*e.g.* yuca, arracacha), permanentes (*e.g.* cítricos, aguacate) y transitorios (*e.g.* arroz, maíz) en el periodo 2005-2018, se obtuvo de las evaluaciones agropecuarias municipales realizadas por las Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA) y que son recolectadas por el Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) para ser publicadas en las bases de datos de la página web Agronet (https://www.agronet.gov.co/). La información correspondiente al porcentaje de producción agropecuaria y el porcentaje de producción no agropecuaria, se calculó

a partir de los datos veredales disponibles en el Tercer Censo Nacional Agropecuario (DANE, 2017). De allí, se extrajo el número de habitantes por cada vereda, el número (la cantidad) y el tipo de unidades productivas para cada vereda. La información cartográfica sobre drenajes se obtuvo de los datos abiertos al público del sitio web del IGAC (2019).

Infraestructura: La ubicación cartográfica de los centros poblados y las vías se obtuvo de los datos abiertos disponibles en el sitio web del IGAC (https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia; (IGAC, 2019). A partir de esta información espacial se calculó la densidad de vías de acuerdo con la división veredal, teniendo en cuenta la relación km/km^2 (Martínez et al., 2009). La ubicación cartográfica de las redes eléctricas (cables de transmisión de corriente eléctrica) se obtuvo de acuerdo con la información disponible en la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2019).

Coberturas: Con el fin de evaluar que los incendios realmente ocurrieron en cobertura de bosques seco, se evaluó el tipo de cobertura. Para tal fin se realizó una clasificación supervisada de coberturas para el periodo 2005-2018 utilizando imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI y TIRS, estas imágenes se obtuvieron a través del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) empleando el visor de información abierta GloVis (https://glovis.usgs.gov/; (USGS, 2019). Las coberturas identificadas corresponden a pastos, bosques, áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva y áreas agrícolas heterogéneas, y estas coberturas se clasificaron para cuatro años dentro del periodo de estudio (*i.e.* 2005, 2009, 2014, 2018; (IDEAM, 2010).

2.3. Análisis de datos

Teniendo en cuenta que para algunas variables no fue posible obtener datos de toda la escala temporal estudiada, se utilizaron dos enfoques para el análisis de datos. En primer lugar, se realizó un enfoque temporal para aquellas variables en las que fue posible obtener datos a lo largo del marco de tiempo estudiado. El segundo enfoque fue espacial, tanto a nivel de vereda como un modelo espacialmente explícito en el área del municipio.

Enfoque temporal: A través de un análisis de componentes principales (Pearson, 1901), se relacionó para cada municipio el número de incendios por año con el número de habitantes por

año, las áreas sembradas por año en cultivos anuales, cultivos permanentes y cultivos transitorios. Esta relación se hizo para el periodo 2005-2018, pues si bien se contaba con información de años anteriores de los incendios y de habitantes, la información de áreas sembradas sólo estuvo disponible desde el año 2005.

Enfoque espacial: En primer lugar, por medio de un análisis de componentes principales (Pearson, 1901), se evaluó, a nivel veredal, la asociación entre el número de incendios ocurridos en cada vereda con el área de la vereda, la densidad vial para cada vereda, habitantes por vereda, porcentaje de producción agropecuaria y porcentaje de producción no agropecuaria en la vereda.

Adicionalmente, se realizó un modelo lineal logístico generalizado (MGL) para cada municipio (Nelder & Wedderburn, 1972), con el fin de obtener la incidencia de cada una de esas variables en la ocurrencia de incendios (Costafreda-Aumedes et al., 2017; Hoyos et al., 2017). Las variables espacializadas fueron: área de predio, tipo de cobertura, distancia a centros poblados, distancia a drenajes, densidad vial, distancia a redes eléctricas, distancia a vías, habitantes por vereda, porcentaje de producción agropecuaria. Debido a que el modelo utiliza datos de presencia ausencia, que permitan obtener información contrastante para la calibración, los datos de ausencia se obtuvieron por medio de puntos al azar en zonas en las que no hay reportados focos de incendio con base en lo reportado por el sensor MODIS en su colección 6-MCD14DL para el periodo de estudio (Díaz-Timoté, 2019; Nelder & Wedderburn, 1972). Una vez obtenidos los datos de presencia y ausencia de los focos de incendio en cada municipio, se extrajo esta información espacializada para cada variable en un matriz de Excel y se realizaron los MGL. Para los MGL, se emplearon inicialmente las nueve variables mencionadas y con base en los resultados arrojados, se iba calibrando el modelo disminuyendo el número de variables explicativas (Costafreda-Aumedes et al., 2017; Hoyos et al., 2017; Rodrigues et al., 2014). Así, se escogió el mejor modelo en función de su poder explicativo y predictivo (porcentaje de falsos positivos y falsos negativos), el Criterio de Información de Akaike (AIC), y el área bajo la Curva de Operación Relativa (ROC) (Hoyos et al., 2017; Nelder & Wedderburn, 1972).

Para los cálculos de las distancias euclidianas de las diferentes infraestructuras y drenajes se utilizó el software ArcGIS 10.4 (ESRI, 2019). A través de este también se espacializaron las variables a emplear en los MGL, para la clasificación no supervisada de coberturas, así como para la clasificación de los tamaños de predio. Por otro lado, todos los análisis estadísticos referentes a los

análisis de componentes principales y los MGL se realizaron en el software libre R (R Core Team, 2019).

III. RESULTADOS

Entre el periodo 2001-2018, se registraron 435 incendios que ocurrieron en áreas de bosque en los municipios de Coello (77) y Ortega (358) (Fig. 2). En los dos municipios el mayor número de incendios forestales se presentó durante el año 2003, con 11 incendios en Coello y 53 incendios en Ortega. Para ambos municipios se observan fluctuaciones en el número de incendios año a año, donde se presentan años con muy pocos incendios, seguidos de años con gran número de incendios. Para Coello la mayor actividad de incendios se presentó en los años 2003 (11 incendios), 2002, 2004, 2010 (9 incendios) y 2013 (6 incendios). Para Ortega la mayor actividad de incendios se presentó en los años 2003 (53 incendios), 2009 (43 incendios), 2007 (42 incendios), 2015 (38 incendios), y 2005 (35 incendios).

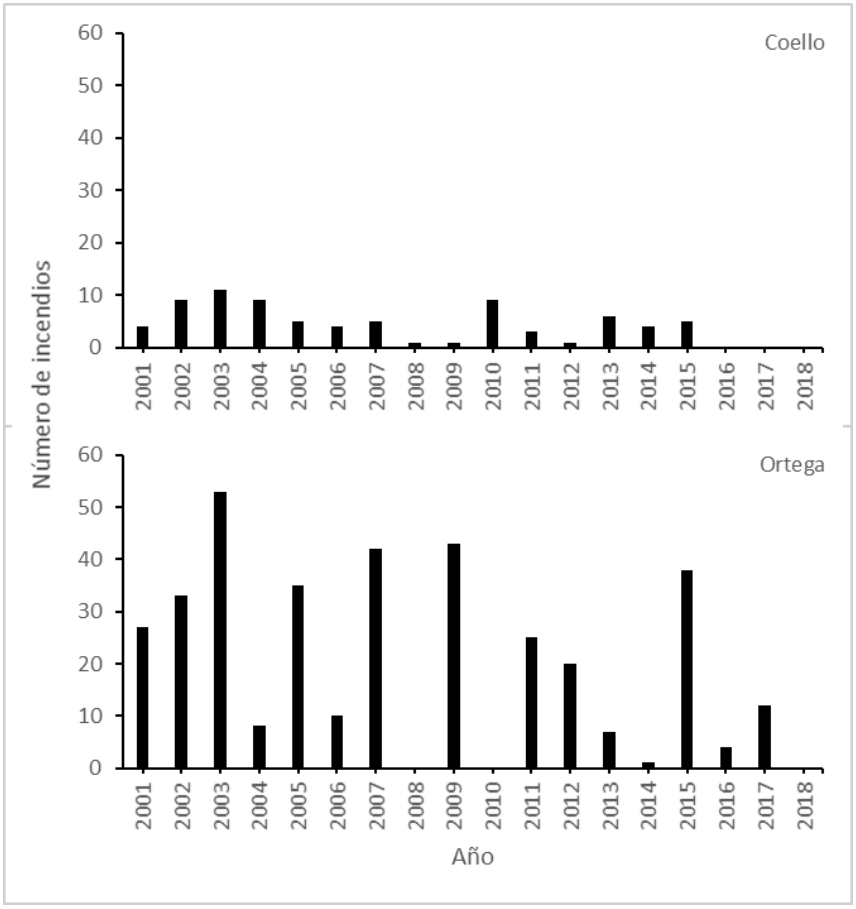


Figura 2. Número de incendios ocurridos en los municipios de Coello (superior) y Ortega (inferior) para el periodo 2001-2018 (N=36).

Al analizar, a nivel municipal, la relación entre los cambios anuales en el número de habitantes, las áreas sembradas con cultivos anuales, transitorios (menos de un año) y permanentes con el número de incendios durante el periodo 2005-2018 (Fig. 3), se encontró una estrecha relación entre el número de incendios con el número de habitantes, la cantidad de área sembrada para cultivos transitorios (*e.g.* arroz, maíz, sorgo, ajonjolí) y la cantidad de área sembrada para cultivos permanentes (*e.g.* cítricos, aguacate, mango). En contraste, el año y el área sembrada en cultivos anuales (*e.g.* yuca, arracacha, ñame) no mostraron ninguna relación con la ocurrencia de incendios.

Por otro lado, al analizar estas relaciones a nivel veredal, para el municipio de Coello (22 veredas) se encontró que un mayor número de incendios estuvo relacionado con una mayor densidad vial y área veredal y, en menor medida con el número de habitantes por vereda (Fig. 4). En contraste, para el municipio de Ortega (84 veredas), sólo se encontró una relación clara entre el número de incendios con el área y el número de habitantes por vereda (Fig. 4).

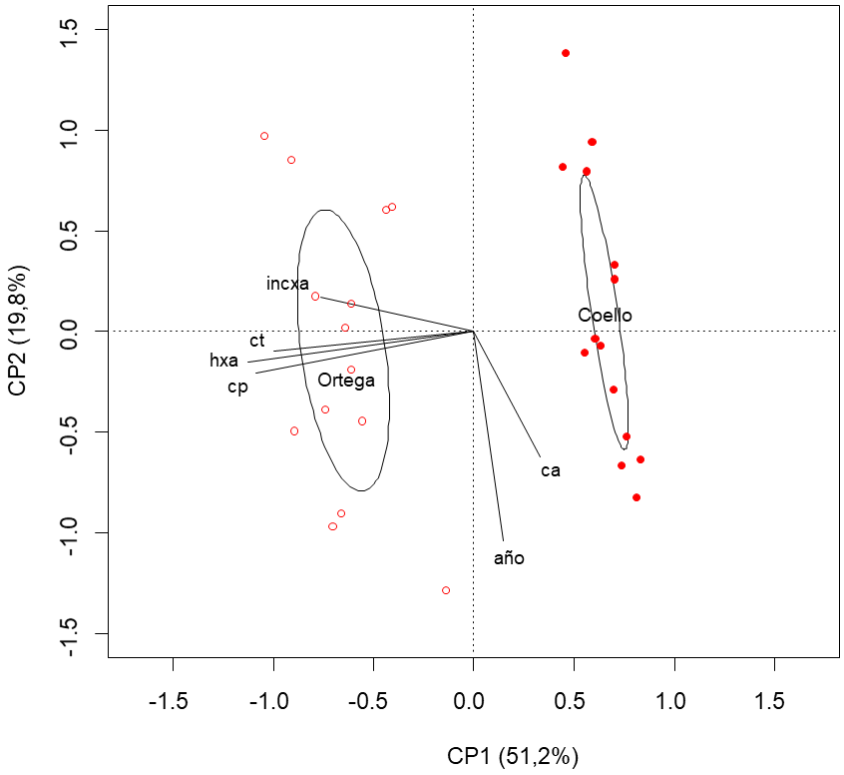


Figura 3. Análisis de componentes principales para la ocurrencia de incendios en los municipios de Coello y Ortega, periodo 2005-20018 (elipses: intervalo de confianza del 95%; círculos rellenos: años para Coello, círculos vacíos: años para Ortega; ca: cultivos anuales, cp: cultivos permanentes, ct: cultivos transitorios, hxa: habitantes por año, incxa: incendios por año; N=28).

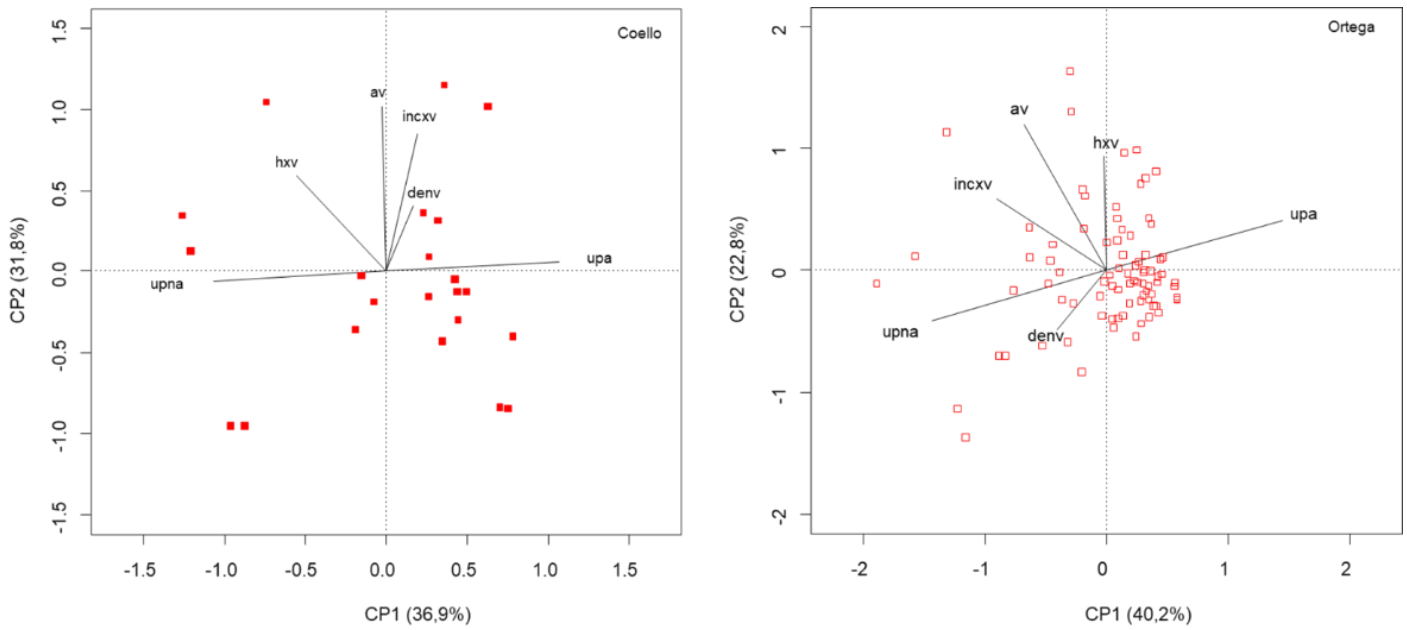


Figura 4. Análisis de componentes principales para la ocurrencia de incendios a nivel veredal en los municipios de Coello (izquierda) y Ortega (derecha) (cuadrados: veredas de cada municipio; av: área vereda, denv: densidad vial, hxv: habitantes por vereda, incxv: número de incendios por vereda, upa: porcentaje de producción agropecuaria, upna: porcentaje de producción no agropecuaria; N=106).

Respecto al tamaño de predio se encontró que, para los dos municipios, dominan los predios pequeños (<18 ha), mientras que los predios grandes son poco frecuentes (Tabla 2). En el caso de Coello, se encontró que el mayor número de incendios se presenta en predios de tamaños intermedios (clases 2, 3 y 4). Esto mismo ocurre en Ortega, en donde el número de incendios también está relacionado con predios asociados a las clases de tamaño 4, 3 y 2 (Tabla 2).

Al evaluar la información espacial disponible, a través de un análisis de componentes principales para ambos municipios se encontró, que en Coello el número de incendios estuvo relacionado con un mayor porcentaje de producción agropecuaria y con la distancia a vías (Fig. 5). También se observa una estrecha relación entre incendios y la distancia a redes eléctricas, centros poblados y área de predios. En el caso de Ortega, se observa que el número de incendios tiene relación con la distancia a centros poblados y en menor medida con la densidad vial, el número de habitantes y la distancia a redes eléctricas (Fig. 5). No obstante, para ambos municipios los incendios no muestran relación clara con el tipo de cobertura ni con la distancia a drenajes.

Tabla 2. Clases de tamaño para predios rurales, número de predios por clase, área y número de incendios para los municipios de Coello y Ortega.

Clase de tamaño	Intervalo (ha)	Número de predios	Área		Número de incendios	
			Ha	%	Ocurrencia	%
Coello						
1	0,01 - 16,11	1588	4488,42	13,24	4	5,19
2	16,12- 54,54	231	6811,11	20,09	24	31,17
3	54,55 - 128,01	94	7653,38	22,58	23	29,87
4	128,02 - 280,05	33	6220,08	18,35	20	25,97
5	280,06 - 599,85	19	8004,73	23,61	6	7,79
	Total	1965	33177,72	98,87	77	100
Ortega						
1	0,01 - 18,68	8742	33927,84	36,09	58	16,20
2	18,69 - 70,81	920	30859,88	32,83	80	22,35
3	70,82 - 183,36	127	13753,47	14,63	93	25,98
4	183,37 - 442,01	34	9341,12	9,94	101	28,21
5	442,02 - 898,48	6	4499,29	4,79	26	7,26
	Total	9829	92381,60	98,58	358	100

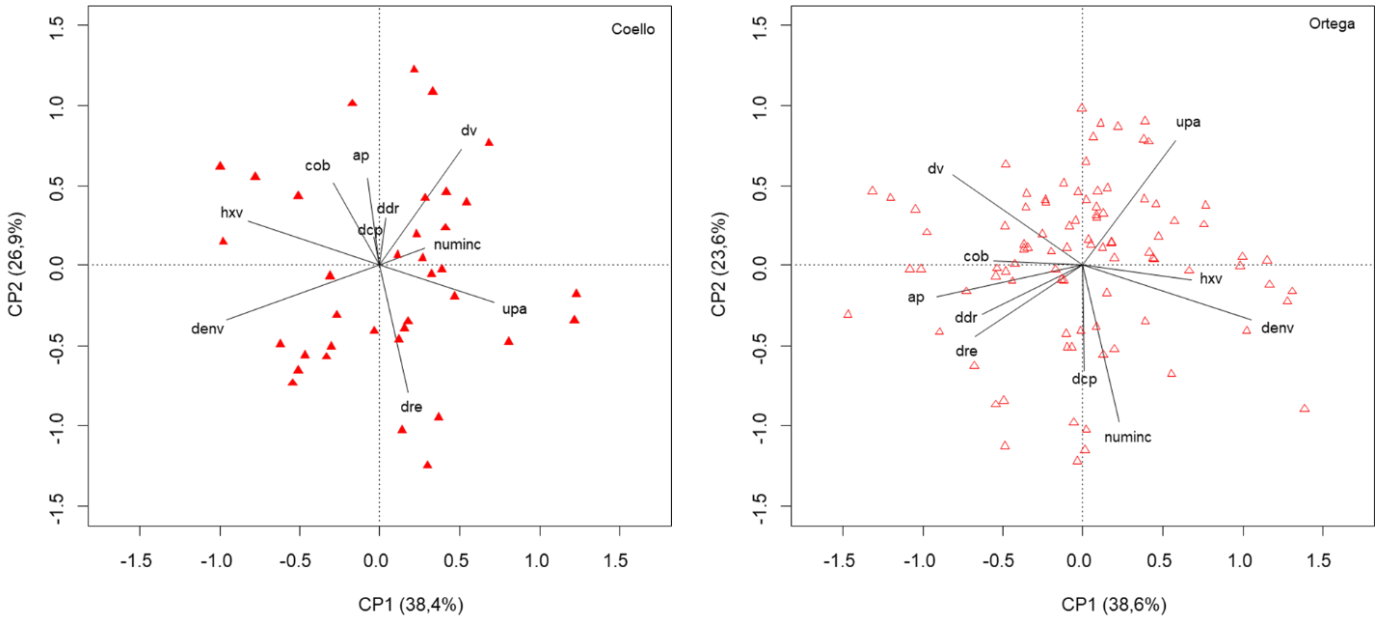


Figura 5. Análisis de componentes principales para focos de incendios y variables antrópicas en los municipios de Coello (izquierda) y Ortega (derecha) (triángulos: focos de incendio en cada municipio; ap: área de predio, cob: tipo de cobertura, dcp: distancia a centros poblados, ddr: distancia a drenajes, denv:

densidad vial, dre: distancia a redes eléctricas, dv: distancia a vías, numinc: número de incendios, hxv: habitantes por vereda, upa: porcentaje de producción agropecuaria; N=127).

Para el caso de Coello el MGL mostró valores de sensibilidad y especificidad altos, 81,1% y 78,4% respectivamente, así como el área bajo la Curva de Operación Relativa (ROC) presentó un valor de 0,79, valores que permiten aceptar el modelo. En ese sentido se encontró que la combinación entre la distancia a centros poblados, a redes eléctricas y a vías fueron las variables que mejor explicaron la ocurrencia de incendios en el municipio (Tabla 3). Se encontró que el área de predio, la distancia a drenajes y el porcentaje de producción agropecuaria pueden explicar en menor medida la ocurrencia de incendios.

Para el caso de Ortega, los valores de sensibilidad y especificidad fueron del 83,3% y 81,1% respectivamente, y el área bajo la curva ROC arrojó un valor de 0,82, lo que valida el modelo generado. Para este caso, se encontró que las variables que mejor explican la ocurrencia de incendios son las distancias a redes eléctricas y a vías, junto con el porcentaje de producción agropecuaria, y en menor medida el área de predio (Tabla 4).

Tabla 3. Resumen estadístico del modelo de regresión logística para la ocurrencia de incendios en el municipio de Coello empleando variables de origen antrópico (ap: área de predio, dcp: distancia a centros poblados, ddr: distancia a drenajes, dre: distancia a redes eléctricas, dv: distancia a vías, upa: porcentaje de producción agropecuaria; N=74).

Variable	Coeficiente	Desviación	valor *z*	valor *p*	
Intercepto	-5,3310	2,5580	-2,0840	0,0372	*
ap	-0,0024	0,0017	-1,4430	0,1489	
dcp	0,0003	0,0001	2,3150	0,0206	*
ddr	-0,0015	0,0010	-1,4420	0,1494	
dre	0,0001	0,0000	2,1600	0,0308	*
dv	0,0010	0,0005	2,1460	0,0319	*
upa	0,0342	0,0260	1,3160	0,1883	
$probabilidad\ incendios\ en\ Coello = logit^{-1}\ (-5{,}3310 - 0{,}0024ap + 0{,}0003dcp - 0{,}0015ddr + 0{,}0001dre + 0{,}0010dv + 0{,}0342upa)$					

* $p < 0{,}05$

Tabla 4. Resumen estadístico del modelo de regresión logística para la ocurrencia de incendios en el municipio de Ortega empleando variables de origen antrópico (ap: área de predio, dre: distancia a redes eléctricas, dv: distancia a vías, upa: porcentaje de producción agropecuaria; N=180).

Variable	Coeficiente	Desviación	valor *z*	valor *p*	
Intercepto	2,9603	1,0680	2,7730	0,0056	**
ap	0,0018	0,0011	1,6670	0,0955	.
dre	-0,0003	0,0000	-5,2630	0,0000	***
dv	0,0014	0,0005	2,6870	0,0074	**
upa	0,0300	0,0116	2,5830	0,0098	**

$$probabilidad\ incendios\ en\ Ortega = logit^{-1}\ (2{,}9603 + 0{,}0018ap - 0{,}0003dre + 0{,}0014dv + \ 0{,}0300upa)$$

*** $p < 0{,}001$
** $p < 0{,}01$

IV. DISCUSIÓN

4.1. Factores antrópicos asociados a incendios

Los resultados de esta investigación muestran que en los bosques secos tropicales de dos municipios de la cuenca alta del Río Magdalena en los que se presentaron frecuencias de entre tres y cinco incendios en los últimos 20 años, además de las actividades agrícolas, otros factores antrópicos como el área del predio, el número de habitantes y la cercanía a infraestructuras (*i.e.* vías, redes electicas, centros poblados) logran explicar la ocurrencia de incendios forestales y, en cada municipio, estos factores inciden de forma diferente. En primer lugar, y conforme a lo esperado, se encuentra que los cultivos agrícolas estuvieron relacionados con el número de incendios, pero de estos, son los cultivos transitorios como el maíz, el arroz y el sorgo los que estuvieron principalmente asociados con la ocurrencia de incendios. Esto se debe a las prácticas agrícolas que requieren estos cultivos, dentro de las cuales se encuentran la roza, tumba y quema del área a cultivar, prácticas que por lo general ocurren en la época seca (Armenteras et al., 2011; Drexler, 2007; Pizano & Garcia, 2014). En contraste, los cultivos anuales como el ñame, la yuca o la arracacha, no estuvieron asociados a los incendios, ya que en estos no se utiliza, ni se recomienda la roza y la quema (Figura 3).

Estas prácticas de quema para la instalación de cultivos se presentan con amplia frecuencia dentro de ambos municipios. Las razones por las que suelen hacerse este tipo de quemas incluyen la disminución de costos, fertilización del suelo, disminución de plagas, aumento de la producción, reducción de la mano de obra necesaria, entre otras (Acevedo-Osorio & Martinez-Collazos, 2016; Drexler, 2007). Lo anterior puede estar relacionado con la condiciones de vida de los habitantes y agricultores de cada municipio, ya que los municipios de Coello y Ortega presentan índices altos de pobreza (*i.e.* IPM, NBI) respecto a otros municipios del departamento del Tolima (DANE, 2020; DNP, 2019), lo cual puede estar incidiendo en las prácticas que se realizan para las diferentes actividades agrícolas de ambos municipios, teniendo que recurrir en ocasiones a la roza, tumba y quema por las facilidades que ofrece a los agricultores en la producción de sus cultivos.

Nuestros resultados concuerdan con nuestra hipótesis y estudios similares realizados en otras zonas geográficas, en donde la actividad agropecuaria ha sido una de las principales actividades

económicas relacionadas con los incendios. Por ejemplo, en áreas de Galicia y Cataluña (España) con una alta actividad de incendios, se ha evidenciado que aquellas áreas con mayor actividad agropecuaria muestran una mayor frecuencia en la ocurrencia de incendios (Chas-Amil et al., 2015; Chergui et al., 2018; Costafreda-Aumedes et al., 2016; Martínez et al., 2009). A pesar de lo anterior, en la mayoría de estos estudios sólo se vincula la actividad agropecuaria en general a los incendios sin discriminar en el tipo de cultivo o actividad (*e.g.* agrícola o ganadera), mientras que para los bosques secos aquí estudiados se encuentra que son los cultivos transitorios (*i.e.* arroz, maíz, sorgo) los que están principalmente asociados a las prácticas de quema, mientras que los cultivos anuales como la yuca, el ñame no estuvieron relacionados con los incendios. Esto coincide con lo planteado por Mejía Quesada (2017) para la cuenca del río Coello, quien también encontró que el arroz podría representar un alto nivel de riesgo para la aparición de un incendio. Por otro lado, a partir de entrevistas y descripciones de los habitantes locales (Ramirez-Gonzalez, datos no publicados), se evidencia que la actividad ganadera tampoco está asociada a los incendios, pues, aunque es una zona ganadera no se queman pastizales ni bosques para la inclusión de ganados.

En segundo lugar, se encontró una gran asociación entre el área del predio y la ocurrencia de incendios en donde, los bosques asociados a predios de tamaño mediano presentaron un mayor número de conflagraciones. Una posible explicación a dicha situación es que en predios de gran tamaño (que son pocos) pueden eventualmente gozar de una mayor capacidad técnica y económica lo que permitiría una mayor rotación de cultivos y/o pastizales sin la necesidad de recurrir a prácticas de tumba, roza y quema (Mancini et al., 2018; Oliveira et al., 2017). También puede suceder que, debido a una mayor mano de obra disponible, también tengan una mayor capacidad de apagar una conflagración (Viedma et al., 2015). Por otro lado, y, a pesar de que los predios pequeños e intermedios están asociados a un mayor número de incendios, estos cuentan con la ventaja de que permiten ejercer un mayor control y supresión de los incendios en eventuales conflagraciones, dada su área reducida junto a la baja cantidad de biomasa y combustibles (Viedma et al., 2015).

Otro factor altamente relacionado con la ocurrencia de incendios en la región, principalmente en el municipio de Ortega, fue la infraestructura, principalmente a lo que refiere a distancia a vías y redes eléctricas. Según Pivello (2011) y Silvestrini et al. (2011) tal parece que las vías aumentan las probabilidades de que se introduzcan igniciones de forma voluntaria o involuntaria dentro de

los bosques, como por ejemplo: la quema de residuos sólidos al borde de las vías o cerca a áreas boscosas, la inclusión de elementos de fácil ignición (*e.g.* colillas de cigarrillos, combustibles) en zonas con alta presencia de biomasa, un efecto lupa producido por la inclusión de elementos cristalinos (*e.g.* vidrios, lentes, botellas). Adicionalmente, lo anterior junto a ciertas condiciones climáticas pueden desencadenar en un incendio, bien sea a través de las corrientes de vientos que permiten el avance del fuego hacia zonas con alta concentración de biomasa, o a causa de la cantidad de materia seca disponible (con alta inflamabilidad) durante las épocas secas, épocas que se caracterizan por altas temperaturas, bajas precipitaciones y una baja humedad (Chas-Amil et al., 2015; Pivello, 2011; Silvestrini et al., 2011; Soares-Filho et al., 2012). En ese sentido, sería importante en términos de gestión del riesgo, abordar el monitoreo de aquellas vías que hayan estado relacionadas con conflagraciones, que se presentan tanto en el borde de vía, así como aquellas que se presentan en las áreas boscosas aledañas a esas vías.

Por otro lado, la relación entre las redes eléctricas y los focos incendiarios, también se ha encontrado en diferentes sitios del mundo (Syphard, Keeley, & Abatzoglou, 2017; Syphard et al., 2017). Estudios recientes han mostrado que la infraestructura eléctrica es una fuente constante de igniciones, relacionadas principalmente con sobrecargas debido a una mayor densidad poblacional o con un mal estado de la red eléctrica (Syphard, Keeley, & Abatzoglou, 2017; Syphard et al., 2017). Así, dependiendo de donde están ubicadas tanto las líneas como los transformadores o reguladores, se podrían iniciar uno o varios incendios (Syphard, Keeley, & Abatzoglou, 2017). En este sentido, para algunas zonas de California (Estados Unidos) se ha evidenciado que el aumento en las fallas de la red eléctrica junto a una ineficiente gestión de combustibles y acumulación de biomasa, son responsables de un mayor número de incendios y un aumento en la capacidad destructiva de estos (Mitchell, 2009). En el caso particular de los bosques secos de los municipios estudiados, encontramos que la influencia de la red eléctrica en la ocurrencia de incendios es diferente en cada uno, para Coello los incendios se presentan en áreas distantes a las redes eléctricas, mientras que en Ortega los incendios ocurren en cercanías a la red eléctrica. Estas diferencias pueden deberse principalmente al estado propio de la red eléctrica en cada municipio, así como a la cercanía de esas redes a áreas boscosas, incluso por la interacción de estas redes eléctricas con otros factores antrópicos (*e.g.* población, actividades productivas, vías) que ejercen de manera conjunta efectos sobre la ocurrencia de incendios (Mitchell, 2009; Syphard et al., 2017). Lo anterior, fue confirmado en conversaciones con habitantes de ambos municipios quienes

asocian las vías y redes eléctricas con la ocurrencia incendios accidentales, y un mal estado en la red eléctrica que genera descargas eléctricas en la biomasa ocasionando la ignición de la masa forestal (Ramirez-Gonzalez, datos no publicados).

De forma transversal a la distancia a vías, las redes eléctricas y la actividad agrícola se encuentran la densidad poblacional. En este sentido, una mayor cantidad de habitantes estuvo relacionada con un mayor número de incendios, ya que una mayor densidad poblacional repercute en un mayor número y área de los cultivos presentes en los municipios (Fig. 3). En ese mismo sentido, se podría explicar porque hay más incendios en Ortega que en Coello, pues observamos una mayor densidad poblacional en Ortega. Igualmente, el número de habitantes puede incidir sobre otras variables de tipo antrópico como la densidad de infraestructuras, las actividades económicas, la cantidad y conectividad de los combustibles, entre otras (Chas-Amil et al., 2015; Mancini et al., 2018; Mann et al., 2016; Oliveira et al., 2017). Por otro lado, los centros poblados al ser los lugares en donde se encuentra una mayor cantidad de personas dentro de un municipio y en donde confluyen la mayoría de las vías y redes de una región, también han estado relacionados con la ocurrencia de incendios principalmente de tipo accidental (Mann et al., 2016; Spies et al., 2014). Esta relación entre la distancia a vías y centros poblados también ha sido observada en los bosques secos del caribe colombiano (Hoyos et al., 2017; Umaña, 2017), lo cual muestra la importancia que tiene la accesibilidad a los bosques en la ocurrencia de incendios, ya que las áreas cercanas a pueblos y vías muestran una mayor frecuencia de incendios y una menor variabilidad interanual, en relación con áreas remotas caracterizadas por una menor frecuencia de incendios y mayor variabilidad (Hoyos et al., 2017; Mann et al., 2016; Spies et al., 2014).

4.2. Recomendaciones para la gestión del fuego

Si bien hay ciertas variables que ayudan a explicar la ocurrencia de incendios en los municipios estudiados, cada variable tuvo un peso diferente en cada municipio. Así, para el municipio de Coello tuvo mayor peso la distancia a centros poblados, a redes eléctricas y a vías, mientras que para el municipio de Ortega además de las dos últimas, el área de producción agropecuaria fueron las variables que tuvieron mayor relevancia. Así mismo, al evaluar la escala espacial dentro del mismo municipio y a nivel de veredas se observan variaciones. A nivel de vereda observamos

relación entre el número de personas y la actividad agropecuaria con el número de incendios, mientras que al analizar de forma espacialmente explicita cada foco de incendio, se encuentra una mayor relación con la infraestructura (Fig. 3, 4 y 5). Estas diferencias lo que indican es que al evaluar a una escala exclusivamente municipal no necesariamente logran capturar muchas de las interacciones complejas entre los factores antrópicos y la actividad del fuego (Bistinas et al., 2013; Costafreda-Aumedes et al., 2017; González-Olabarria et al., 2011; Rodrigues et al., 2014). En este sentido, para hacer gestión del riesgo es fundamental que los municipios incorporen modelos espacialmente explícitos. Estas diferencias entre variables incidentes y sus escalas pueden ser de importancia en temas relacionados con la gestión del riesgo, enfocada en la prevención y manejo de incendios forestales.

Las relaciones encontradas muestran un escenario complejo en relación con el riesgo de ignición de incendios y hace necesario tener en cuenta esta complejidad para ajustar las medidas de gestión y prevención de incendios para mejorar su eficacia. Adicionalmente, a diferencia de muchas otras regiones de Colombia en donde los incendios han estado asociados a escenarios de deforestación (Armenteras et al., 2017, 2018; Hoyos et al., 2017; Merino-De-Miguel et al., 2011), para ambos municipios no se encontró una relación clara entre el cambio de la cobertura boscosa con los incendios, y tampoco se encontró una relación entre la pérdida significativa de áreas boscosas con los incendios ocurridos en los últimos años. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las quemas accidentales que resultan en incendios del bosque si pueden estar afectando la sucesión, los servicios ecosistémicos y la integridad ecológica que presentan estos bosques, por lo que en su mayoría se encuentran en estadios tempranos de sucesión (Ospina Cespedes, 2017; Rivera Ospina, 2019).

Futuras investigaciones deben abordar el riesgo de ignición del fuego asociando características del paisaje (*e.g.* vegetación, topografía, clima) con las causas humanas subyacentes de la ignición, lo cual aumentara la eficiencia en la asignación de medidas de prevención de incendios como la vigilancia o el manejo de la vegetación (Calviño-Cancela et al., 2017; Fischer et al., 2016). Lo anterior, facilitara la elaboración de regulaciones o campañas educativas centradas en aumentar la conciencia de los ciudadanos sobre los riesgos de incendio relacionados con actividades o comportamientos particulares en ciertos ambientes (Ager et al., 2015, 2017; Calviño-Cancela et al., 2017; Martínez et al., 2009). A medida que se implementan regulaciones, los gobernantes,

planificadores y demás actores pueden usar escenarios y modelos no solo para identificar procesos antrópicos o ecológicos que continúan incrementando el riesgo de incendios forestales, sino también para probar estrategias adicionales para revertir los efectos negativos de estos incendios (Carroll & Paveglio, 2016; González-Olabarria et al., 2015; Tedim et al., 2016).

Teniendo en cuenta lo anterior, y dado que la mayoría de las políticas en Colombia referentes a incendios forestales se centran en la supresión y extinción de estos, sin tener en cuenta sus procesos socioecológicos, y con base en los factores antrópicos aquí encontrados, se hace necesario establecer pautas que permitan un adecuado manejo del fuego, empleando aquellas causas antrópicas en la ocurrencia de incendios con el fin de minimizar el riesgo por incendios forestales a habitantes, infraestructuras y las actividades económicas del territorio. Como primera medida, se debe reconocer y entender que el uso del fuego por parte de las comunidades campesinas e indígenas de ambos municipios surge por cuestiones culturales y económicas que se han mantenido hasta el día de hoy (Drexler, 2007; Gutiérrez Navarro et al., 2017; Rodríguez et al., 2016). En segundo lugar, deben definirse aquellos grupos de personas y grupos de actividades que mayor incidencia generan en la ocurrencia de incendios, para nuestro caso campesinos e indígenas que producen cultivos transitorios (*i.e.* arroz, maíz, sorgo), esto permitirá generar planes de acción enfocados a estas poblaciones en particular, con el fin de apoyar sus actividades productivas sin que estas generen igniciones dentro de áreas de bosque seco (Carroll & Paveglio, 2016; Paveglio et al., 2018). Adicionalmente, se deben establecer aquellas épocas del año en las cuales se presentan la mayor cantidad de incendios y de quemas agrícolas, priorizando los recursos y personal para trabajar durante estas épocas, que por lo general concuerdan con las épocas secas del año (Carroll & Paveglio, 2016; Paveglio et al., 2018). Esto permitirá ejercer un mejor control y manejo de los incendios forestales que puedan presentarse en ambos municipios.

Adicionalmente, y teniendo en cuenta la incidencia de la infraestructura en la ocurrencia de incendios, se debe incluir el manejo y desarrollo de esta en los planes de gestión del riesgo. Es necesario generar estrategias que permitan ejercer un control de los combustibles y la biomasa en inmediaciones a las vías, o por lo menos las más transitadas, con el fin de disminuir el posible ingreso de incendios accidentales a áreas boscosas, así como implementar una señalización que advierta sobre zonas propensas a incendiarse alrededor de las vías (Chas-Amil et al., 2015; Mancini et al., 2018; Martínez et al., 2009). En cuanto a las redes eléctricas, se deben realizar

revisiones constantes a la red para prevenir descargas eléctricas sobre la biomasa, e identificar aquellas redes que deben mejorar su infraestructura, también se vuelve necesario el uso de cortafuegos alrededor de las redes y de los transformadores, principalmente aquellas infraestructuras eléctricas que hayan estado relacionadas con la ocurrencia de incendios en años anteriores (Oliveira et al., 2017; Syphard, Keeley, & Abatzoglou, 2017; Syphard et al., 2017).

Para lograr una adecuada gestión de los incendios también se requiere una participación de comunidades empoderadas, y la colaboración de todas las partes interesadas, agencias (gubernamentales y no gubernamentales) e instituciones que interactúan en el territorio, incentivando el uso compartido de responsabilidades en la gestión del riesgo de incendios forestales (Ager et al., 2015; Moreira et al., 2011; Tedim et al., 2016). Esto significa pasar gradualmente de una expectativa pasiva, a una condición en la que las comunidades locales se conviertan en actores autónomos de iniciativas ascendentes en términos de prevención, preparación y supresión rápida, un cambio que posiblemente requerirá nuevas formas de gobernanza (Ager et al., 2017; Tedim et al., 2016). Como se mencionó anteriormente, las actividades que generan igniciones son tradicionales y recurrentes en la agricultura de ambos municipios, por lo tanto, es necesario generar sinergias con actividades de producción y gestión ambiental, empleando medidas específicas y ubicándolas estratégicamente (Ager et al., 2017; Tedim et al., 2016). Lo anterior, ofrece beneficios en términos de costos y aceptación social porque se involucra a todo el territorio y sus actores, desde las comunidades de productores y las diferentes actividades económicas que estos realizan.

V. CONCLUSIONES

En términos generales, para ecosistemas asociados al fuego las actividades económicas como la agricultura inciden en gran medida sobre el número de igniciones, la configuración del paisaje y los combustibles disponibles durante los periodos de incendios forestales, y son estos factores lo que llegan a definir la ocurrencia o no de los incendios (Moreira et al., 2011; Vilar et al., 2016). Adicionalmente, las prácticas asociadas a la roza, tumba y quema para cultivar han jugado un papel importante en el número de igniciones que puedan surgir ya sea en los bosques objeto de estudio, o en los bosques mediterráneos con alta actividad de incendios (Chergui et al., 2018; Gonzalez-M. et al., 2018). Por otro lado, y con relación al área predial, se encontró que tamaños intermedios de predio tienden a estar asociados a un mayor número de incendios. Adicionalmente, se ha evidenciado que un incremento en la actividad agrícola sin contar con los medios adecuados y la tecnificación correspondiente podrá incidir en el aumento del número de incendios debido a prácticas de quema, esta carencia de tecnificación y de medios está relacionada también con el nivel de pobreza presente en cada región (Mancini et al., 2018; Oliveira et al., 2017).

En este estudio se evidencia que existen ciertos factores antrópicos que pueden incidir en la ocurrencia de incendios forestales en los bosques secos tropicales de la cuenca alta del Río Magdalena. Estos factores antrópicos correspondieron a las actividades agrícolas, el área predial, el número de habitantes y la cercanía a infraestructuras urbanas (*i.e.* centros poblados, redes eléctricas, vías). El peso y la incidencia que pueda tener cada uno de estos factores varia en cada municipio debido a cuestiones sociales y culturales, dentro de las cuales se destacan la implementación de quemas para el aumento de la productividad agrícola, y esto a su vez se relaciona con el área predial disponible para la actividad, el recurso técnico y la mano de obra. Estas variaciones en los factores también están dadas por situaciones relacionadas con la dinámica poblacional y el desarrollo de infraestructuras que ocurren de manera diferente en cada región. En este sentido, también se encontraron diferencias al emplear diferentes escalas de trabajo, por lo que se recomienda el uso de modelos espaciales explícitos, con el fin de abordar con mayor precisión las relaciones y causas antrópicas subyacentes relacionadas con cada foco de incendio, pues escalas veredales y municipales pueden disminuir el número de causas y de relaciones, lo cual puede generar sesgos para la toma de decisiones relacionadas con el manejo del fuego y la gestión del riesgo por incendios.

La información acá presentada es de utilidad en términos de gestión del riesgo y planificación del territorio, específicamente en la gestión y control del riesgo por incendios forestales en ecosistemas secos. Pues al definirse aquellas causas y factores que mayor incidencia tienen para la aparición de igniciones dentro de los ecosistemas de un territorio, es posible definir prioridades para un adecuado manejo y control. Este manejo y control de igniciones debe enfocarse en aquellos actores y acciones de mayor incidencia, que para nuestro caso correspondería a productores agrícolas de cultivos transitorios como el arroz, el maíz, o el sorgo, definiendo los diferentes ciclos productivos y su relación con las quemas, y teniendo en cuenta las épocas del año en las cuales se realizan las diferentes actividades productivas, con el fin de generar un acompañamiento técnico que permita reducir las igniciones de origen antrópico dentro de los bosques secos. Dentro de este manejo y control de igniciones también se puede abordar el manejo y gestión de la infraestructura, principalmente vías y redes eléctricas, definiendo aquellos puntos o lugares donde se presenta el mayor número de igniciones y verificando que situación particular pueden estar presentándose en las inmediaciones de esas infraestructuras, para las vías un alto tránsito de personas y/o vehículos, o en el caso de las redes eléctricas sobrecargas o descargas en la masa forestal. Lo anterior, junto a una inclusión de la población en el manejo y control de igniciones puede incidir en la disminución de los daños ecológicos, económicos y humanos que ocasionan los incendios forestales.

VI. AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Jimmy Chávez por sus aportes técnicos en la clasificación supervisada de coberturas para el área de estudio. A los profesores Gonzalo de las Salas y Juan Manuel Rosso de la Maestría en Manejo, Uso y Conservación del Bosque, por sus aportes y revisiones para la mejora de este proyecto. A mis directores Angela Parrado Roselli y Julián Díaz Timoté, por su dedicación y orientación a lo largo del proyecto. Un especial agradecimiento para los habitantes de Coello y Ortega con quienes converse, así como a los Cuerpos de Bomberos Voluntarios, la Policía Nacional, y las Unidades de Asistencia Técnica y Agropecuaria de ambos municipios, por su colaboración, solidaridad, hospitalidad y el compartir conmigo información y experiencias relacionadas con sus actividades productivas, su cultura, su vida diaria, los incendios y las quemas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abatzoglou, J. T., & Williams, A. P. (2016). Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(42), 11770–11775. https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113

Acevedo-Osorio, A., & Martinez-Collazos, J. (2016). *La agricultura familiar en Colombia: estudios de caso desde la multifuncionalidad y su aporte a la paz*. Universidad Cooperativa de Colombia, Corporación Universitaria Minuto de Dios.

Ager, A. A., Evers, C. R., Day, M. A., Preisler, H. K., Ana, M., Barros, G., & Nielsen-Pincus, M. (2017). Network analysis of wildfire transmission and implications for risk governance. *PLoS ONE*, *12*(3), 1–28. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172867

Ager, A. A., Kline, J. D., & Fischer, A. P. (2015). Coupling the Biophysical and Social Dimensions of Wildfire Risk to Improve Wildfire Mitigation Planning. *Risk Analysis*, *35*(8), 1393–1406. https://doi.org/10.1111/risa.12373

Agronet. (2019). *Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. https://www.agronet.gov.co/Paginas/inicio.aspx

Alcaldía Municipal de Coello. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal de Coello. ¡Unidos construyendo progreso!* http://www.coello-tolima.gov.co/

Alcaldía Municipal de Ortega. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal de Ortega. ¡Por un Ortega diferente y eficiente!* http://www.ortega-tolima.gov.co/

Andela, N., & van der Werf, G. R. (2014). Recent trends in African fires driven by cropland expansion and El Niño to La Niña transition. *Nature Climate Change*, *4*(9), 791–795. https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2313

Aráoz, E., & Grau, H. R. (2010). Fire-Mediated Forest Encroachment in Response to Climatic and Land-Use Change in Subtropical Andean Treelines. *Ecosystems*, *13*(7), 992–1005. https://doi.org/10.1007/s10021-010-9369-7

Archibald, S. (2016). Managing the human component of fire regimes: Lessons from Africa. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *371*(3), 1–11. https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0346

Argañaraz, J. P., Landi, M. A., Bravo, S., Gavier-Pizarro, G. I., Scavuzzo, C. M., & Bellis, L. M. (2016). Estimation of Live Fuel Moisture Content From MODIS Images for Fire Danger Assessment in Southern Gran Chaco. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *9*(12), 1–11. https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2575366

Armenteras, D., Barreto, J. S., Tabor, K., Molowny-Horas, R., & Retana, J. (2017). Changing patterns of fire occurrence in proximity to forest edges, roads and rivers between NW

Amazonian countries. *Biogeosciences*, *14*(11), 2755–2765. https://doi.org/10.5194/bg-14-2755-2017

Armenteras, D., Bernal-Toro, F. H., González-Alonso, F., Morales-Rivas, M., Pabon-Caicedo, J. D., Paramo-Rocha, G., & Parra-Lara, A. del C. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia* (A. del C. Parra Lara, Ed.). Universidad Autónoma de Occidente.

Armenteras, D., Gonzalez, T. M., & Barreto, J. S. (2018). Fuegos y áreas protegidas de la Amazonia Colombiana: Cambio en los motores de deforestación. *Revista Colombia Amazónica*, *11*(45), 73–84.

Armenteras, D., González-Alonso, F., & Aguilera, C. F. (2009). Distribución geográfica y temporal de incendios en Colombia utilizando datos de anomalías térmicas. *Caldasia*, *31*(2), 303–318. http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-77953718391&partnerID=MN8TOARS

Balch, J. K., Bradley, B. A., Abatzoglou, J. T., Chelsea Nagy, R., Fusco, E. J., & Mahood, A. L. (2017). Human-started wildfires expand the fire niche across the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(11), 2946–2951. https://doi.org/10.1073/pnas.1617394114

Berrio, J. C., Hooghiemstra, H., Behling, H., & van der Borg, K. (2000). Late Holocene history of savanna gallery forest from Carimagua area, Colombia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, *111*(4), 295–308. https://doi.org/10.1016/S0034-6667(00)00030-0

Berrio, J. C., Hooghiemstra, H., Marchant, R., & Rangel, O. (2002). Late-glacial and Holocene history of the dry forest area in the south. *Journal of Quaternary Science*, *17*(7), 667–682. https://doi.org/10.1002/jqs.701

Bistinas, I., Oom, D., Sá, A. C. L., Harrison, S. P., Prentice, I. C., & Pereira, J. M. (2013). Relationships between human population density and burned area at continental and global scales. *PLoS ONE*, *8*(12), 1–12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081188

Bravo, S. (2010). Estudios Sobre Ecología De Fuego En La Región Chaqueña Occidental De Argentina. In A. M. Gimenez & G. I. Bolzon (Eds.), *Educacion e investigación forestal para un equilibrio vital* (pp. 111–132). Programa de Internacionalización de la Educación Superior y Cooperación Internacional CAPES- SPU.

Burry, L. S., Palacio, P. I., Somoza, M., Trivi de Mandri, M. E., Lindskoug, H. B., Marconetto, M. B., & D'Antoni, H. L. (2018). Dynamics of fire, precipitation, vegetation and NDVI in dry forest environments in NW Argentina . Contributions to environmental archaeology. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *18*(4), 747–757. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.05.019

Calviño-Cancela, M., Chas-Amil, M. L., García-Martínez, E. D., & Touza, J. (2017). Interacting effects of topography, vegetation, human activities and wildland-urban interfaces on wildfire ignition risk. *Forest Ecology and Management*, *397*(3), 10–17. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.033

Carroll, M. S., & Paveglio, T. B. (2016). Using community archetypes to better understand differential community adaptation to wildfire risk. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *371*(16), 1–7. https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0344

Castillo, M., Pedernera, P., & Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, *19*(3), 44–53. http://arrayan.tchile.com/virtual/cipma.cl/www/web/200.75.6.169/RAD/2003/3-4_Castillo.pdf

Chas-Amil, M. L., Prestemon, J. P., McClean, C. J., & Touza, J. (2015). Human-ignited wildfire patterns and responses to policy shifts. *Applied Geography*, *56*(2), 164–176. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.025

Chergui, B., Fahd, S., Santos, X., & Pausas, J. G. (2018). Socioeconomic Factors Drive Fire-Regime Variability in the Mediterranean Basin. *Ecosystems*, *21*(4), 619–628. https://doi.org/10.1007/s10021-017-0172-6

Chuvieco, E., Martínez, S., Román, M. V., Hantson, S., & Pettinari, M. L. (2014). Integration of ecological and socio-economic factors to assess global vulnerability to wildfire. *Global Ecology and Biogeography*, *23*(2), 245–258. https://doi.org/10.1111/geb.12095

Costafreda-Aumedes, S., Comas, C., & Vega-Garcia, C. (2016). Spatio-temporal configurations of human-caused fires in spain through point patterns. *Forests*, *7*(9), 1–15. https://doi.org/10.3390/f7090185

Costafreda-Aumedes, S., Comas, C., & Vega-Garcia, C. (2017). Human-caused fire occurrence modelling in perspective: A review. *International Journal of Wildland Fire*, *26*(12), 983–998. https://doi.org/10.1071/WF17026

DANE. (2017). *Tercer Censo Nacional Agropecuario. Anexos municipales y veredales*. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014#entrega-de-resultados-del-3er-censo-nacional-agropecuario-preliminar

DANE. (2019). *Estimaciones de población 1985-2005 y Proyecciones de población 2005-2020 nacional, departamental y municipal por sexo, grupos quinquenales de edad*. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/series-de-poblacion

DANE. (2020). *Censo nacional de población y vivienda 2018*. https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018

de La Barrera, F., Barraza, F., Favier, P., Ruiz, V., & Quense, J. (2018). Megafires in Chile 2017 : Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems. *Science of the Total Environment*, *637–638*(4), 1526–1536. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.119

Díaz-Timoté, J. (2019). *Descripción del régimen de incendios del bosque seco tropical de la cuenca alta del Río Magdalena y su relación con la variación climática*.

DNP. (2019). *Fichas de caracterización territorial*. https://www.dnp.gov.co/programas/desarrollo-territorial/Paginas/Fichas-de-Caracterizacion-Regional.aspx

Drexler, J. (2007). Las "siembras de agua": La concepción y las prácticas de salud territorial de los nasa (páez) de Tierradentro en Colombia. Otra mirada indígena a la reforestación. *Anthropológicas*, *18*(1), 137–170. https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistaanthropologicas/article/viewFile/6045/5302

Duguy, B. (2004). Interacción de la historia de usos del suelo y el fuego en condiciones mediterráneas. Respuesta de los ecosistemas y estructura del paisaje. *Ecosistemas*, *13*(1), 95–98.

ESRI. (2019). *ArcGIS Desktop: Release 10* (10.4.1). Environmental Systems Research Institute. https://www.esri.com/en-us/

Fischer, A. P., Spies, T. A., Steelman, T. A., Moseley, C., Johnson, B. R., Bailey, J. D., Ager, A. A., Bourgeron, P., Charnley, S., Collins, B. M., Kline, J. D., Leahy, J. E., Littell, J. S., Millington, J. D. A., Nielsen-Pincus, M., Olsen, C. S., Paveglio, T. B., Roos, C. I., Steen-Adams, M. M., … Bowman, D. M. J. S. (2016). Wildfire risk as a socioecological pathology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *14*(5), 276–284. https://doi.org/10.1002/fee.1283

Flórez Guzmán, M. H., Forero Herrera, L. F., & Cardona Henao, L. A. (2017). Quantification of the resources used by the public and private sector to mitigate the dameged caused by forest fires in the city of Ibague, Tolima, Colombia. *Revista ENIAC Pesquisa*, *6*(2), 153–165.

Gonzalez-M., R., Garcia, H., Isaacs, P., Cuadros, H., Lopez-Camacho, R., Rodriguez, N., Perez, K., Mijares, F., Castaño-Naranjo, A., Jurado, R., Idarraga-Piedrahita, A., Rojas, A., Vergara, H., & Pizano, C. (2018). Disentangling the environmental heterogeneity, floristic distinctiveness and current threats of tropical dry forests in Colombia. *Environmental Research Letters*, *13*(2), 1–13.

González-Olabarria, J. R., Mola-Yudego, B., & 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

González-Olabarria, J. R., Mola-Yudego, B., Pukkala, T., & Palahi, M. (2011). Using multiscale spatial analysis to assess fire ignition density in Catalonia, Spain. *Annals of Forest Science*, *68*(4), 861–871. https://doi.org/10.1007/s13595-011-0082-2

Gutiérrez Navarro, A., Garcìa Barrios, L. E., Parra Vázquez, M., & Rosset, P. (2017). De la supresión al manejo del fuego en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas:

perspectivas campesinas. *Región y Sociedad*, *29*(70), 31–70. https://doi.org/10.22198/rys.2017.70.a329

Harbour, T. (2008). *Fire Management Today. International Fire Management - Part 2* (Vol. 68, Issue 4). United States Department of Agriculture, Forest Service.

Hernández-Gamarra, A., & Barreto-Nieto, L. H. (2013). *Caracterización física, demográfica, social y económica de los municipios ribereños de la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena*. Corporacion Autónoma Regional del Rio Grande de La Magdalena CORMAGDALENA.

Hoyos, N., Correa-Metrio, A., Sisa, A., Ramos-Fabiel, M. A., Espinosa, J. M., Restrepo, J. C., & Escobar, J. (2017). The environmental envelope of fires in the Colombian Caribbean. *Applied Geography*, *84*(3), 42–54. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.05.001

IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra.Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. http://siatac.co/c/document_library/get_file?uuid=a64629ad-2dbe-4e1e-a561-fc16b8037522&groupId=762

IGAC. (2019). *Datos Abiertos IGAC*. Subdirección de Catastro, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. https://geoportal.igac.gov.co/

Knorr, W., Kaminski, T., Arneth, A., & Weber, U. (2014). Impact of human population density on fire frequency at the global scale. *Biogeosciences*, *11*(4), 1085–1102. https://doi.org/10.5194/bg-11-1085-2014

Laurance, W. F. (2003). Slow burn: the insidious effects of surface fires on tropical forests. *Trends in Ecology and Evolution*, *18*(5), 209–212. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00073-9

Lindskoug, H. B. (2016). Fire Events, Violence and Abandonment Scenarios in the Ancient Andes: The Final Stage of the Aguada Culture in the Ambato Valley, Northwest Argentina. *Journal of World Prehistory*, *29*(2), 155–214. https://doi.org/10.1007/s10963-016-9095-y

Lloret, F. (2003). Gestión del fuego y conservación en ecosistemas mediterráneos. *Ecosistemas*, *12*(2), 1–4.

Mancini, L. D., Corona, P., & Salvati, L. (2018). Ranking the importance of Wildfires' human drivers through a multi-model regression approach. *Environmental Impact Assessment Review*, *72*(6), 177–186. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.06.003

Mann, M. L., Batllori, E., Moritz, M. A., Waller, E. K., Berck, P., Flint, A. L., Flint, L. E., & Dolfi, E. (2016). Incorporating anthropogenic influences into fire probability models: Effects of human activity and climate change on fire activity in California. *PLoS ONE*, *11*(4), 1–21. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153589

Martínez, J., Vega-Garcia, C., & Chuvieco, E. (2009). Human-caused wildfire risk rating for prevention planning in Spain. *Journal of Environmental Management*, *90*(2), 1241–1252. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.005

Mejía Quesada, C. E. (2017). *Zonificación de Riesgos a Incendios Forestales en la Cuenca del Río Coello en el Departamento del Tolima*. http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3226/MEJIA_CARLOS_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Merino-De-Miguel, S., González-Alonso, F., Huesca, M., Armenteras, D., & Franco, C. (2011). MODIS reflectance and active fire data for burn mapping in Colombia. *Earth Interactions*, *15*(10), 1–17. https://doi.org/10.1175/2010EI344.1

Mitchell, J. W. (2009). Power lines and catastrophic wildland fire in Southern California. *In Proceedings of the 11th International Conference on Fire and Materials, January*, 225–238.

Montalba, R., & Stephens, N. (2014). Ecological Change and the "Ecological Mapuche": A Historical Sketch of the Human Ecology of Chile's Araucania Region. *Human Ecology*, *42*(4), 637–643. https://doi.org/10.1007/s

Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E., Barbati, A., Corona, P., Vaz, P., Xanthopoulos, G., Mouillot, F., & Bilgili, E. (2011). Landscape - wildfire interactions in southern Europe: Implications for landscape management. *Journal of Environmental Management*, *92*(10), 2389–2402. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.028

Moreno, M. V., Conedera, M., Chuvieco, E., & Pezzatti, G. B. (2014). Fire regime changes and major driving forces in Spain from 1968 to 2010. *Environmental Science and Policy*, *37*(2), 11–22. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.08.005

Nelder, J., & Wedderburn, R. (1972). Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society*, *A*(135), 370–384.

Oliveira, S., & Luís, Z. (2020). Assessing the biophysical and social drivers of burned area distribution at the local scale. *Journal of Environmental Management*, *264*(March), 1–15. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110449

Oliveira, S., Zêzere, J. L., Queirós, M., & Pereira, J. M. (2017). Assessing the social context of wildfire-affected areas. The case of mainland Portugal. *Applied Geography*, *88*(3), 104–117. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.09.004

Ospina Cespedes, L. C. (2017). *Efecto de un incendio forestal sobre la microbiota de un suelo de bosque seco tropical, en el departamento del Tolima*.

Parente, J., Pereira, M. G., Amraoui, M., & Tedim, F. (2018). Negligent and intentional fires in Portugal: Spatial distribution characterization. *Science of the Total Environment*, *624*, 424–437. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.013

Pausas, J. G., & Fernández-Muñoz, S. (2012). Fire regime changes in the Western Mediterranean Basin: From fuel-limited to drought-driven fire regime. *Climatic Change*, *110*(2), 215–226. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0060-6

Pausas, J. G., & Ribeiro, E. (2017). Fire and plant diversity at the global scale. *Global Ecology and Biogeography*, *26*(8), 889–897. https://doi.org/10.1111/geb.12596

Paveglio, T. B., Carroll, M. S., Stasiewicz, A. M., Williams, D. R., & Becker, D. R. (2018). Incorporating social diversity into wildfire management: Proposing "Pathways" for fire adaptation. *Forest Science*, *64*(5), 515–532. https://doi.org/10.1093/forsci/fxy005

Pearson, K. (1901). On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Phil. Mag*, *2*(11), 559–572.

Pivello, V. R. (2011). The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: Past and present. *Fire Ecology*, *7*(1), 24–39. https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024

Pizano, C., & Garcia, H. (2014). *El bosque seco tropical en Colombia* (C. Pizano & H. Garcia, Eds.). Instituto de Investigacion de Recursos Biologicos Alexander von Humboldt IAvH.

R Core Team. (2019). *R: A language and environment for statistical computing* (3.6.2). R Foundation for Statistical Computing. https://www.r-project.org/

Rivera Ospina, D. (2019). *Agricultura tradicional de roza, tumba y quema en el bosque seco de la Reserva Natural Victoria (Melgar, Tolima): Transición a la no quema*.

Rodrigues, M., de La Riva, J., & Fotheringham, S. (2014). Modeling the spatial variation of the explanatory factors of human-caused wildfires in Spain using geographically weightedlogistic regression. *Applied Geography*, *48*, 52–63. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.01.011

Rodrigues, M., Jiménez, A., & de La Riva, J. (2016). Analysis of recent spatial–temporal evolution of human driving factors of wildfires in Spain. *Natural Hazards*, *84*(3), 2049–2070. https://doi.org/10.1007/s11069-016-2533-4

Rodríguez, I., Sletto, B., Leal, A., Bilbao, B., & Sánchez-Rose, I. (2016). A propósito del fuego: diálogo de saberes y justicia cognitiva en territorios indígenas culturalmente frágiles. *TRILOGÍA. Ciencia, Tecnología y Sociedad*, *8*(15), 97–118. https://doi.org/10.22430/21457778.399

Romero-Ruiz, M. H., Flantua, S. G. A., Tansey, K., & Berrio, J. C. (2012). Landscape transformations in savannas of northern South America: Land use/cover changes since 1987 in the Llanos Orientales of Colombia. *Applied Geography*, *32*(2), 766–776. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.010

Shlisky, A., Waugh, J., Gonzalez, P., Gonzalez, M., Manta, M., Santoso, H., Alvarado, E., Ainuddin Nukuruddin, A., Rodriguez-Trejo, D. A., Swaty, R., Schmidt, D., Kaufmann, M., Myers, R. L., Alencar, A., Kearns, F., Johnson, D., Smith, J., Zollner, D., & Fulks, W.

(2007). *Fire, Ecosystems & People: Threats and Strategies for Global Biodiversity Conservation.* The Nature Conservancy.

Silvestrini, R. A., Soares-Filho, B. S., Nepstad, D., Coe, M., Rodrigues, H., & Assunção, R. (2011). Simulating fire regimes in the Amazon in response to climate change and deforestation. *Ecological Applications*, *21*(5), 1573–1590. https://doi.org/10.1890/10-0827.1

Soares-Filho, B. S., Silvestrini, R. A., Nepstad, D., Brando, P., Rodrigues, H., Alencar, A., Coe, M., Locks, C., Lima, L., Hissa, L., & Stickler, C. (2012). Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwatersRodrigues, Herma. *Landscape Ecology*, *27*(4), 585–599. https://doi.org/10.1007/s10980-012-9723-6

Spies, T. A., White, E. M., Kline, J. D., Fischer, A. P., Ager, A. A., Bailey, J. D., Bolte, J., Koch, J., Platt, E., Olsen, C. S., Jacobs, D., Shindler, B., Steen-Adams, M. M., & Hammer, R. B. (2014). Examining fire-prone forest landscapes as coupled human and natural systems Examining fire-prone forest landscapes as coupled human and natural systems. *Ecology and Society*, *19*(3), 1–15. https://doi.org/10.5751/ES-06584-190309

Stan, K., & Sanchez-Azofeifa, A. (2019). Tropical dry forest diversity, climatic response, and resilience in a changing climate. *Forests*, *10*(5). https://doi.org/10.3390/f10050443

Syphard, A. D., Keeley, J. E., & Abatzoglou, J. T. (2017). Trends and drivers of fire activity vary across California aridland ecosystems. *Journal of Arid Environments*, *144*(7), 110–122. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.03.017

Syphard, A. D., Keeley, J. E., Pfaff, A. H., & Ferschweiler, K. (2017). Human presence diminishes the importance of climate in driving fire activity across the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *114*(52), 1–6. https://doi.org/10.1073/pnas.1713885114

Taylor, Z. P., Horn, S. P., Mora, C. I., Orvis, K. H., & Cooper, L. W. (2010). A multi-proxy palaeoecological record of late-Holocene forest expansion in lowland Bolivia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *293*(1–2), 98–107. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.05.004

Tedim, F., Leone, V., & Xanthopoulos, G. (2016). A wildfire risk management concept based on a social-ecological approach in the European Union: Fire Smart Territory. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *18*(1), 138–153. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.06.005

Umaña, D. (2017). *Zonificación de amenaza a incendios forestales en el municipio de Riohacha, La Guajira*. https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17257/Uma%F1aRamirezDiegoEdison2018.pdf;jsessionid=95198CB2D7660510FBB72017DCF813ED?sequence=1

UPME. (2019). *Sistema de información eléctrico colombiano SIEL*. Sistema de Información Minero Energético, Unidad de Planeación Minero Energética. https://www1.upme.gov.co/

USGS. (2019). *Global Visualization Viewer (GloVis)*. United States Geological Survey. https://www.usgs.gov/

Viedma, O., Moity, N., & Moreno, J. M. (2015). Changes in landscape fire-hazard during the second half of the 20th century: Agriculture abandonment and the changing role of driving factors. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *207*(9), 126–140. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.011

Vilar, L., Camia, A., San-Miguel-Ayanz, J., & Martín, M. P. (2016). Modeling temporal changes in human-caused wildfires in Mediterranean Europe based on Land Use-Land Cover interfaces. *Forest Ecology and Management*, *378*, 68–78. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.020

Wigtil, G., Hammer, R. B., Kline, J. D., Mockrin, M. H., Stewart, S. I., Roper, D., & Radeloff, V. C. (2016). Places where wildfire potential and social vulnerability coincide in the coterminous United States. *International Journal of Wildland Fire*, *25*(8), 896–908. https://doi.org/10.1071/WF15109