

Identificación De Ocurrencia De Incendios Forestales En Áreas De Protección Colombia Entre Los Años 2020-2023: Análisis A Partir Del Procesamiento De Datos Geográficos

Ceballos, Yony Fernando^{1(*)}; Vásquez, Camila²

¹Universidad de Antioquia, Facultad de ingeniería, Medellín, Colombia

²Institucion universitaria digital de Antioquia, Facultad de ingenierías, Medellín, Colombia

Resumen: Colombia es uno de los cinco países con mayor diversidad biológica a nivel internacional y debe gestionar eficazmente zonas terrestres, marinas, sistemas nacionales y regionales de áreas protegidas completos. Un área protegida es un territorio designado por su singularidad en valores naturales y su preservación está a cargo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP). No obstante, existen zonas que pueden ser afectadas por incendios forestales de origen natural o provocados por el hombre. Simultáneamente, entidades como la NASA se dedican a recolectar información a partir de diferentes satélites y generar información accesible a cualquier usuario para realizar análisis cruzados. En ese trabajo se toman datos geoespaciales de las áreas protegidas y se cruzan con los mapas de incendios disponibles en la NASA para identificar cuáles regiones de Colombia tienen mayor propensión a ser afectadas y como trabajo futuro se propone priorizar diferentes políticas orientadas a sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Incendios. Áreas protegidas. GIS. Sostenibilidad ambiental.

Recibido: 22 de mayo de 2024. Aceptado: 30 de agosto de 2024

Received: May 22nd, 2024. Accepted: August 30th, 2024

Identification of the occurrence of forest fires in protected areas Colombia between the years 2020-2023: Analysis from the processing of geographic data

Abstract: Colombia is one of the five most biologically diverse countries at the international level and must effectively manage terrestrial, marine, national and regional systems of protected areas. A protected area is a territory designated for its uniqueness in natural values and its preservation oversees the National System of Protected Areas (SINAP). However, there are areas that can be affected by natural or man-made forest fires. At the same time, entities such as NASA are dedicated to collecting information from different satellites and generating information accessible to any user for cross-analysis. In this work, geospatial data from protected areas are taken and cross-referenced with fire maps available from NASA to identify which regions of Colombia are most likely to be affected and as future work it is proposed to prioritize different policies aimed at environmental sustainability.

Keywords: Forest fires. Protected areas. GIS. Environmental sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales, cada vez más frecuentes y severos a nivel global, representan un grave peligro ecológico y ambiental (*Forests and the Future: A Crisis Raging Out of Control*, 2020). Éstos son una amenaza importante para los ecosistemas y los recursos naturales (Hardy, 2005; Stephens et al., 2013). Durante el verano de 2019-2020, Australia sufrió incendios que devastaron 10 millones de hectáreas y causaron la muerte de más de 1000 millones de animales. La selva amazónica, vital para la producción de oxígeno, también fue severamente afectada en 2019 por numerosos incendios en Brasil, Bolivia y Colombia, disminuyendo su capacidad de actuar como los pulmones del mundo (Da Ponte et al., 2023). Las áreas de protección natural son espacios geográficos que han sido designados para conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Son importantes porque brindan una serie de beneficios, entre los que se destacan: Conservación de la biodiversidad, provisión de servicios ecosistémicos y apoyo al desarrollo sostenible (Bontempi et al., 2023). Por otro lado, los incendios forestales son una catástrofe natural que puede causar daños a la vida humana, la propiedad y el medio ambiente y se pueden generar por causas naturales o humanas. Las causas naturales de los incendios forestales incluyen rayos, volcanes y clima extremo y las causas humanas incluyen fogatas mal apagadas, colillas de cigarrillos, actividades recreativas e incendios intencionales. Sin embargo, los incendios intencionales son causados por personas que deliberadamente prenden fuego a la vegetación (Parhizkar & Cerdà, 2023).

Por lo anterior, los incendios forestales son una amenaza constante para las áreas naturales protegidas. Es por esto por lo que, en este trabajo, se realiza un cruce de la información obtenida desde la SINAP y se cruza con los datos FIRMS de los años 2020 a 2023 (Dhar et al., 2023), para identificar cuales departamentos tienen la mayor cantidad de incendios en zonas protegidas y se proponen estrategias de uso de esta información por parte de las autoridades competentes.

2. MARCO TEÓRICO

En Suramérica, países como Brasil que poseen gran parte de su área dedicada a servicios forestales son afectados por deforestación dada por diferentes razones. Entre ellas existen los incendios inducidos para posteriormente realizar actividades agropecuarias en tales zonas (da Silva, 2024). Diversas normas se han elaborado para evitar la aparición de incendios, todas estas orientadas a penas pecuniarias o privativas de la libertad y en conjunto con lo anterior, se han elaborado diversas técnicas para la identificación de los mismos (Alkhatib, 2014; Stephens, 2005).

Los cambios de uso del suelo con servicios forestales en Colombia se produce a partir de la necesidad de explotación agropecuaria (Vanegas-Cubillos et al., 2022). Analizamos los patrones temporales y espaciales de los incendios en el Caribe colombiano, encontrando que la ocurrencia de incendios está controlada por variables climáticas, antropogénicas y de cobertura del suelo, con una alta variabilidad intra-anual y el

86% de los incendios ocurriendo en la temporada seca (Hoyos et al., 2017).

En Colombia, los incendios forestales son una causa importante de deforestación y degradación del suelo y se han realizado estudios de los impactos de los mismos en los ecosistemas existentes en el país (Bolaño-Díaz et al., 2022; D. et al., 2011).

Las zonas ambientales protegidas son áreas designadas para la conservación de la biodiversidad y los recursos naturales (Fromont et al., 2024; Saout et al., 2013). En Colombia, las zonas ambientales protegidas representan aproximadamente el 20% del territorio nacional.

Para dimensionar la gravedad del problema, un incendio forestal en el Parque Nacional Yosemite arrasó con más de 100.000 hectáreas de bosques. Este causó la muerte de miles de árboles y plantas, y afectó a la población de animales silvestres, como osos, ciervos y aves (Brown & Jenkins, 2023; Da Ponte et al., 2023). Por tal razón, el *fire information for resource management system* (FIRMS) de la NASA es una herramienta valiosa para identificar incendios de diferentes orígenes en todo el mundo en tiempo real, así como para rastrear su progreso y tamaño (Dhar et al., 2023; Gaudreau et al., 2016).

En visualización de estos eventos, se han realizado diversos trabajos que permiten realizar una alerta temprana de aparición de incendios, pero generalmente tales investigaciones son desconectadas del problema de incendios en zonas forestales protegidas (Denham et al., 2022; Fernández-Méndez et al., 2016; Pereira et al., 2022). Algunos de los procesos realizados en Colombia son localizados y no presentan continuidad en el tiempo (Fernández-Méndez et al., 2016; Ocampo-Zuleta & Beltrán-Vargas, 2018).

Esta investigación se basa en la teoría de la gestión de recursos naturales, que sostiene que la conservación de estos es importante para el bienestar humano.

3. METODOLOGÍA

En este trabajo se utilizaron datos de carácter público y obtenidos del Geoportal de la NASA, en específico los asociados a los sistemas de Información de Incendios FIRMS (NASA-FIRMS, 2010). En este conjunto de datos geográficos, el *Fire Radiative Power* (FRP) es la tasa de emisión de energía radiativa por unidad de tiempo proveniente de todos los incendios dentro de un píxel. Este se ha utilizado ampliamente como un indicador de la intensidad del fuego para caracterizar tipos de incendios y está relacionado con la tasa de combustión de biomasa y la tasa de emisiones. Las estimaciones de FRP se proporcionan para datos de incendios activos de sensores como MODIS, VIIRS y diversos sensores geoestacionarios utilizados en FIRMS.

Se construyó un código desarrollado en *Python* y uso de ArcGIS® en el que se usaron librerías de geoprocetamiento (*Geopandas, Shapely, matplotlib, contextily*) para determinar las ubicaciones en Colombia donde hay registros de la variable FRP.

Para visualizar el Índice FRP en un mapa, se sigue un proceso utilizando las bibliotecas *contextily* y *geopandas* en *Python*. Primero, se importan las bibliotecas necesarias, específicamente *matplotlib* para la visualización de gráficos, *contextily* para agregar un mapa base, y *geopandas* para manejar los datos geoespaciales. A continuación, se configura la figura y el eje del gráfico mediante la función *plt.subplots*, definiendo un tamaño adecuado para la visualización.

Luego, se carga la capa de datos geográficos que contiene los valores del FRP y se plotea en el eje previamente creado. La capa se visualiza con una opacidad del 50% y un tamaño de marcador adecuado para representar los datos. Posteriormente, se añade el mapa base utilizando *contextily* para proporcionar contexto geográfico a la visualización. Se especifica la proyección de coordenadas de la capa de datos y se selecciona la fuente del mapa base de *CartoDB Positron*. Finalmente, se añade un título al mapa y se muestra la visualización completa. Este código identifica aquellos lugares públicos que se encuentran relacionados espacialmente y se intersecan las áreas naturales protegidas y los departamentos (*Colombia Boundaries 2018*) del servidor de ArcGis Online.

Para visualizar el Índice FRP en un mapa y graficar su promedio diario, se sigue el siguiente procedimiento utilizando las bibliotecas *contextily*, *geopandas*, y *matplotlib* en *Python*. Primero, se configuran las bibliotecas necesarias. Se importa *matplotlib* para la visualización de gráficos, *contextily* para agregar un mapa base, y *geopandas* para manejar los datos geoespaciales. Con estos elementos, se crea una figura y un eje utilizando la función *plt.subplots*, estableciendo un tamaño adecuado para la visualización. Luego, se carga la capa de datos geográficos que contiene los valores del FRP y se plotea en el eje con una opacidad del 50% y un tamaño de marcador pequeño. Se agrega un mapa base de *CartoDB Positron* usando *contextily* y se especifica la proyección de coordenadas correspondiente. Finalmente, se añade un título al mapa y se muestra la visualización.

Además de la visualización espacial, se analiza la serie temporal del FRP. Se agrupan los datos por fecha de adquisición (*ACQ_DATE*) y se calcula el promedio diario del FRP. Esta información se almacena en un nuevo *GeoDataFrame*. Para asegurar la consistencia espacial, se asigna una geometría fija a cada entrada del *GeoDataFrame*. Luego, se realiza una gráfica de línea del promedio diario del FRP a lo largo del tiempo, con fechas en el eje x y valores de FRP en el eje y. Se añade un título al gráfico y se habilita una cuadrícula para facilitar la interpretación visual de los datos. Finalmente, se muestra el gráfico resultante.

Esta intersección permite construir una escala de departamentos que deben priorizar su manejo especial en áreas protegidas, con el fin de minimizar el impacto de los incendios en dichos ecosistemas.

4. RESULTADOS

Como proceso de análisis se hace un procedimiento de cruce entre la información solicitada de FIRMS, la cual trae puntos geoespaciales, fechas de ocurrencia de tales registros e información asociada a, *Brightness, Scan, Track, Acq_Date, Acq_Time, Satellite, Instrument, Confidence, Version, Bright_T31, FRP, Daynight, Type* y *Geometry*.

En la Figura 1 se presenta el mapa de Colombia en el cual se pueden evidenciar las diferentes intensidades de temperatura recibidas por los satélites desde el 2020 a 2023 (FRP). En este se pueden identificar zonas de mayor intensidad distribuidas en ubicaciones asociadas a espacios de reserva natural, zonas de producción agrícola, zonas de producción minera, construcciones civiles y en zonas urbanas sin categorizar. Cabe anotar que las zonas que presentan menor aparición de incendios son aquellas asociadas a bosques lluviosos y ubicaciones de las cordilleras oriental y central, las cuales tienen alturas superiores a 2000 metros sobre el nivel del mar.

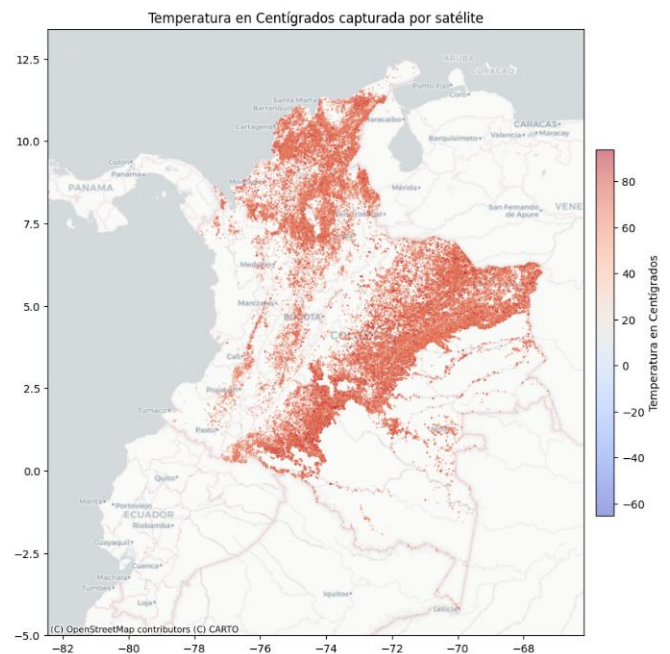


Figura 1. FRP en Colombia.

Los datos históricos obtenidos, como representan una serie temporal de la aparición de incendios en Colombia también se evalúan como promedios diarios de la información, obteniendo los datos que se presentan en la figura 2 (fragmento de los datos totales de FRP). Se puede observar que existen ciclos de aparición de incendios, los cuales se asocian a la aparición de los fenómenos del niño y la niña, y el incremento de la probabilidad de lluvias debido a sequías.

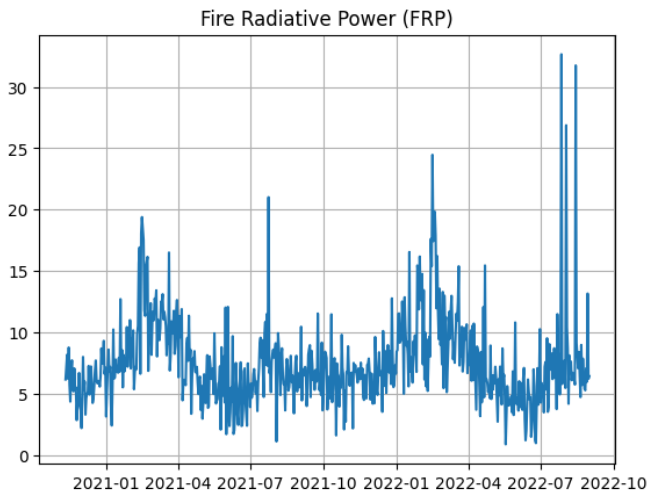


Figura 2. FPR promedio diario entre los años 2021 y 2022.

Desde el repositorio de mapas de ArcGIS se hace la descarga del mapa de zonas protegidas y del mapa de departamentos y se hace una intersección entre los datos históricos de FRP obtenidos en conjunto con las áreas de protección. Posteriormente se realiza un proceso de construcción de tabla con la frecuencia de incendios por cada uno de los departamentos de Colombia y se grafica esta frecuencia. Los resultados de estos procedimientos se presentan en la figura 3.



Figura 3. Incendios en Áreas protegidas en Colombia (2020-2023)

Se puede observar existe una gran cantidad de incendios en los bordes de las zonas protegidas y en especial en la zona de los llanos orientales. En la tabla 1 se puede observar la frecuencia

de incendios en cada uno de los departamentos de Colombia contados por número de ocurrencias.

Tabla 1. Incendios por departamento

#	%	Departamento	#	%	Departamento
931	24,8%	Vichada	69	1,84%	Boyacá
367	9,78%	La Guajira	60	1,60%	Cundinamarca
338	9%	Córdoba	57	1,52%	Chocó
268	7,14%	Meta	42	1,12%	Norte de Santander
249	6,63%	Santander	41	1,09%	Hula
241	6,42%	Magdalena	30	0,8%	Valle del cauca
172	4,58%	Putumayo	30	0,8%	Sucre
124	3,3%	Guaviare	26	0,69%	Vaupés
114	3,04%	Caquetá	26	0,69%	Amazonas
111	2,96%	Casanare	21	0,56%	Arauca
98	2,61%	Tolima	5	0,13%	Bolívar
97	2,58%	Antioquia	2	0,05%	Bogotá, DC
84	2,24%	Caldas	1	0,03%	Cauca
77	2,05%	Guainía	1	0,03%	Atlántico
72	1,92%	Cesar	100%		Total

El departamento de Vichada presenta el mayor número de incendios en el periodo de 2020 a 2023, con un total de 931 incidentes, lo que representa el 24.8% del total de incendios reportados en Colombia. Este dato es significativo, ya que Vichada tiene casi tres veces más incendios que el siguiente departamento en la lista, La Guajira, que reporta 367 incendios (9.78%). Otros departamentos con altas incidencias de incendios incluyen Córdoba (9%), Meta (7.14%), y Santander (6.63%). Estos cinco departamentos juntos suman el 57.35% de todos los incendios reportados, lo que indica una concentración significativa de estos eventos en ciertas áreas del país. Esta concentración puede estar relacionada con factores ambientales, económicos, y sociales específicos de estas regiones.

En contraste, algunos departamentos presentan un número muy bajo de incendios. Boyacá, Cundinamarca, Chocó, Norte de Santander, Huila, Valle del Cauca, Sucre, Vaupés, Amazonas, Arauca, Bolívar, Bogotá, DC, Cauca, y Atlántico reportan menos del 2% de los incendios cada uno, con departamentos como Bogotá, DC, Cauca y Atlántico registrando solo 2, 1, y 1 incendios respectivamente. Estos bajos números podrían estar asociados a diferentes condiciones climáticas, prácticas de manejo de tierras, y medidas preventivas implementadas en estas regiones. El análisis de estos datos puede proporcionar una base para entender las variaciones regionales en la ocurrencia de incendios y orientar políticas y estrategias de prevención y mitigación adaptadas a las necesidades específicas de cada departamento.

5. CONCLUSIONES

El empleo de GIS con los datos de FIRMS puede ser útil para analizar el tamaño y la distribución de los incendios forestales en áreas protegidas. Esto puede ayudar a los administradores de las áreas protegidas a comprender el impacto potencial de los incendios en la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Además, se pueden utilizar para identificar los factores que contribuyen a los incendios forestales en tales áreas. Esto puede ayudar a los gestores a tomar medidas para prevenir o mitigar los incendios en el futuro.

Hay varias razones por las que Vichada tiene más incendios que otras partes de Colombia por su gran superficie de bosques y sabanas, que son ecosistemas propensos a los incendios, en conjunto con que tiene un clima tropical húmedo, con temperaturas altas, creando condiciones ideales para la propagación de incendios. Lo anterior se le agrega que la población es pequeña, lo que dificulta la detección y extinción de incendios.

Como políticas de gobierno, pueden realizarse planes de educación ambiental, instalando sistemas de detección temprana de incendios y la implementación de planes de manejo de incendios. Al tomar medidas como estas se puede ayudar a proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que brindan estos espacios.

REFERENCIAS

- Alkhatib, A. A. A. (2014). A review on forest fire detection techniques. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(3). <https://doi.org/10.1155/2014/597368>
- Bolaño-Díaz, S., Camargo-Cañedo, Y., Tovar Bernal, F., & Bolaño-Ortiz, T. R. (2022). The Effect of Forest Fire Events on Air Quality: A Case Study of Northern Colombia. *Fire*, 5(6). <https://doi.org/10.3390/fire5060191>
- Bontempi, A., Venturi, P., Del Bene, D., Scheidel, A., Zaldo-Aubanell, Q., & Zaragoza, R. M. (2023). Conflict and conservation: On the role of protected areas for environmental justice. *Global Environmental Change*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102740>
- Brown, M., & Jenkins, J. S. (2023). Wildfire-driven entry closures influence visitor displacement and spending to alternative park entrance corridors and gateway communities around Yosemite National Park. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2023.100675>
- D., A.-P., J., R.-A., R., M.-H., M., R.-C. R., F., G.-A., & M., M.-R. (2011). Characterising fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 279–289. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.11.002>
- Da Ponte, E., Alcasena, F., Bhagwat, T., Hu, Z., Eufemia, L., Dias Tureta, A. P., Bonatti, M., Sieber, S., & Barr, P. L. (2023). Assessing wildfire activity and forest loss in protected areas of the Amazon basin. *Applied Geography*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.102970>
- da Silva, T. F. M. R. (2024). The effect of fire-induced forest-degradation on rainfall: a causal inference analysis of the case of the Brazilian Amazon. *World Development Sustainability*, 100162. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2024.100162>
- Denham, M. M., Waidelich, S., & Laneri, K. (2022). Visualization and modeling of forest fire propagation in Patagonia. *Environmental Modelling and Software*, 158(February), 105526. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105526>
- Dhar, T., Bhatta, B., & Aravindan, S. (2023). Forest fire occurrence, distribution and risk mapping using geoinformation technology: A case study in the sub-tropical forest of the Meghalaya, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100883>
- Fernández-Méndez, F., Velasco-Salcedo, V. M., Guerrero-Contecha, J., Galvis, M., & Neri, A. V. (2016). Recuperación ecológica de áreas afectadas por un incendio forestal en la microcuenca tintales (Boyacá, Colombia). *Colombia Forestal*, 19(2), 143–160. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a02>
- Forests and the Future: A Crisis Raging Out of Control, WWF—World Wide Fund for Nature: Gland, Switzerland ____ (2020). https://wwf.panda.org/discover/our_focus/forests_practice/forest_publications_news_and_reports/fires_forests/
- Fromont, C., Carriere, S., Bedecarrats, F., Razafrindakoto, M., & Rouband, F. (2024). Long-term socio-environmental monitoring of protected areas is a persistent weak point in developing countries: Literature review and recommendations. *Biological Conservation*, 290. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110434>
- Gaudreau, J., Perez, L., & Drapeau, P. (2016). BorealFireSim: A GIS-based cellular automata model of wildfires for the boreal forest of Quebec in a climate change paradigm. *Ecological Informatics*, 32, 12–27. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.12.006>
- Hardy, C. C. (2005). Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest Ecology and Management*, 211(1–2), 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.029>
- 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, 42–54. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.05.001>

NASA-FIRMS. (2010). NRT VIIRS 375 m Active Fire product VNP14IMG distributed from NASA FIRMS. NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC).
https://doi.org/doi:10.5067/VIIRS/VJ214IMG_NRT.002

Ocampo-Zuleta, K., & Beltrán-Vargas, J. (2018). Dynamic modeling of forest fires in the eastern hills of Bogota, Colombia. *Madera Bosques*, 24(3), 1–20.
<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431662>

Parhizkar, M., & Cerdà, A. (2023). Modelling effects of human-caused fires on rill detachment capacity based on surface burning of soils in forest lands. *Journal of Hydrology*, 624. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129893>

Pereira, G., Longo, K. M., Freitas, S. R., Mataveli, G., Oliveira, V. J., Santos, P. R., Rodrigues, L. F., & Cardozo, F. S. (2022). Improving the south America wildfires smoke estimates: Integration of polar-orbiting and geostationary satellite fire products in the Brazilian biomass burning emission model (3BEM). *Atmospheric Environment*, 273(January).
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.118954>

Saout, L., S., H., M., S., Y., H., A., B., C., B., M., T., & Rodrigues, A. S. (2013). Protected Areas and Effective Biodiversity Conservation. *Science*, 342(6160), 803–805.

Stephens, S. L. (2005). Forest fire causes and extent on United States Forest Service lands. *International Journal of Wildland Fire*, 14(3), 213–222. <https://doi.org/10.1071/WF04006>

Stephens, S. L., Agee, J. K., Fulé, P. Z., North, M. P., Romme, W. H., Swetnam, T. W., & Turner, M. G. (2013). Managing forests and fire in changing climates. *Science*, 342, 41–42.
<https://doi.org/10.1126/science.1240294>

Vanegas-Cubillos, M., Sylvester, J., Villarino, E., Pérez-Marulanda, L., Ganzenmüller, R., Löhr, K., Bonatti, M., & Castro-Nunez, A. (2022). Forest cover changes and public policy: A literature review for post-conflict Colombia. *Land Use Policy*, 114(January).
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.105981>