

Análisis espacio-temporal de incendios del Norte y Centro de Suramérica a partir de información satelital y programación en R: 2009-2019

Brigette López Guevara

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD
Escuela de Ciencia Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA
Programa de Ambiental
Bogotá
2021

Análisis espacio-temporal de incendios del Norte y Centro de Suramérica a partir de información satelital y programación en R: 2009-2019

Brigette López Guevara

Trabajo para optar al título de Ingeniería Ambiental

Director:

Ing. Juan Felipe Méndez Espinosa, MSc

Línea de investigación:

Gestión y manejo ambiental y biotecnología

Semillero/Grupo de Investigación:

BIOSIG/COBIDES

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD
Escuela de Ciencia Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA
Programa de Ambiental
Bogotá
2021

Página de Aceptación

Juan Felipe Mendez Espinosa
Director Trabajo de Grado

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá-2021

Agradecimiento

Dando comienzo con mi proyecto quiero agradecer en primera instancia a Dios por la oportunidad de poder cumplir con mi proyecto profesional y poder adquirir nuevos conocimientos, agradezco al profesor el Ingeniero Juan Felipe Méndez, por la vocación de ofrecer sus conocimientos, indicarme pasión por ejecutar un proyecto de investigación enfocada en la calidad del aire y orientalmente en este hermoso proyecto para poderlo finalizar y presentarlo a ustedes.

Gracias a mi familia por inculcarme los valores de la responsabilidad, el compromiso, el liderazgo y la dedicación para poderlo completar y terminar mi proyecto como ingeniera ambiental.

Resumen

La frecuencia, poder radiativo y tamaño de los incendios en el mundo se ha incrementado, generando graves impactos sociales, ambientales y económicos. A pesar de ello, se cuenta con una cantidad limitada de investigaciones frente a este problema, especialmente en el Norte de Suramérica (NSA) y Centro de Suramérica (CSA) que permitan crear políticas públicas con base en la ciencia y tecnología. Así las cosas, el presente proyecto buscó analizar espacial y temporalmente los incendios del norte y centro de Suramérica entre 2009 y 2019. Así mismo, se complementó con una revisión de estrategias nacionales de manejo integral de incendios desde la prevención, detección y atención. Se utilizó información del espectrorradiómetro de imágenes de media resolución (MODIS) a bordo de los satélites Aqua y Terra de la NASA. Los datos de incendios con una confianza mayor al 75% fueron seleccionados y procesados en lenguaje de programación R. Se identificó espacialmente aquellos incendios con el mayor poder radiativo [MW] (por encima del percentil 90). La distribución del conteo diario de incendios se analizó de forma mensual y anual.

Palabras claves: Incendio, Sensores remotos, VIIRS, Suramérica, Gestión del riesgo.

Abstract

The frequency, radiative power, and size of fires in the world has increased, generating serious social, environmental, and economic impacts. Despite this, there is a limited amount of research on this problem, especially in the northern (NSA) and central South America (CSA). This project sought to analyze spatially and temporally the fires in NSA and CSA between 2009 and 2019. At the same time, it was finished considering a review of national strategies about thorough management of fires from prevention, detection, and attention. Information from the médium resolution imaging spectroradiometer (MODIS) on board the Aqua and Terra NASA's satellites was used. The fire data with a confidence greater than 75% were selected and processed in R' programming. Fires with the highest radiative power [MW] (above the 90th percentile) were spatially identified. The distribution of daily fire counting was analyzed on a monthly and annual basis. During the first four months of the year, the NSA is affected by fires of more than 3000 MW in the Orinoquia basin; while the CSA is affected in more than 90% by fires of more than 8,800 MW, mainly during August, September, and October.

Keywords: Fire, Remote Sensors, VIIRS, South America, Risk Management.

Tabla de contenido

Introducción	10
Problema.....	12
Incendios de la cobertura vegetal	14
Justificación.....	19
Objetivos	22
Objetivo general	22
Objetivo especifica	22
Marco conceptual	23
Metodología	25
Área de estudio.....	26
Análisis espacio-temporal de incendios entre 2009 y 2019	27
Recopilación de estrategias de prevención, mitigación, detección y atención oportuna de incendios.....	28
Discusión de resultados.....	28
Análisis espacial de los incendios del Norte de Suramérica	29
Análisis temporal de los incendios del Norte de Suramérica.....	31
Recopilación de estrategias de prevención, mitigación, detección y atención oportuna de incendios.....	35
Plan de capacitación	40
Conclusiones	43
Recomendaciones.....	44
Bibliografía.....	46

Lista de figuras

Figura 1. Área de estudio mostrada en forma rectangular para (a.) Norte de Suramérica, (b.) Centro de Suramérica	21
Figura 2. Densidad de fuegos activos detectados con MODIS para el periodo 2009-2019 (Número de fuegos/100 km ²). Centro de Suramérica.....	24
Figura 3. Densidad de fuegos activos detectados con MODIS para el periodo 2009-2019 (# fuegos/100 km ²). Norte de Suramérica.	24
Figura 4. Diagrama anual de caja y bigotes asociado al conteo diario de incendios en el (a.) Norte de Suramérica y (b.) Centro de Suramérica durante 2009-2019. Fuente: autora.....	26
Figura 5. Diagrama multimensual de caja y bigotes asociado al conteo diario de incendios en el (a.) norte de Suramérica y (b.) centro de Suramérica durante 2009-2019. Fuente: autora	27
Figura 6 Secuencia histórica de las iniciativas gubernamentales para el manejo del fuego en Colombia, Ecuador y Perú. Autoría de (Dolors Armenteras, Tania Marisol González, Orlando Vargas Ríos, María Constanza Meza Elizalde, 2020).....	29
Figura 7 Cumplimiento de las funciones de la CONIFOR Fuente: (La Gaceta N° 92 Del 15 De Mayo Del 2013 Poder Ejecutivo 2013)	
Figura 8. Infografía del aprendamos a manejar el fuego.....	33
Fuente: (Sistema de Monitoreo y alerta de riesgo de incendios forestales, 2000).	33

Lista de tablas

Tabla 1 Focos activos de fuegos (%) y área afectada (%) en los principales biomas en Colombia, Ecuador y Perú.....	12
--	----

Introducción

Es reconocido cada vez más el impacto de las actividades humanas sobre los ecosistemas, dando lugar a fuertes modificaciones sobre los patrones espaciales de la biodiversidad y sus servicios a nivel global (Pimm et al., 1995). Los incendios en particular constituyen un importante factor en la dinámica y funcionamiento de los ecosistemas en todo el mundo. Es reconocido el papel que tiene el fuego como perturbación natural en muchos ecosistemas (Chen et al 2013), pero también es usado como una herramienta en el manejo de la tierra en muchos países, principalmente para generar cambios en el uso de suelo (Müller et al., 2013) en condiciones legales e ilegales.

El efecto del fuego en la estructura y funcionamiento de los sistemas naturales permite por ejemplo la expresión del banco de semillas mediante diversos mecanismos ecológicos (Parr & Chown, 2003). No obstante, el fuego afecta de forma drástica la biodiversidad, distribución y abundancia de las especies (Chia, et al 2016), influenciando las redes tróficas, modificando el uso de hábitats (Litt AR, 2001) y, mediando sobre múltiples servicios ecosistémicos como la fertilidad del suelo y la afectación del microclima entre otros (Müller et al., 2013). La quema incontrolada de la vegetación en los países tropicales causa no sólo impactos ecológicos, sino también tiene efectos económicos y sociales a nivel local, e implicaciones de gran envergadura para el calentamiento global (MA, 2009). Se estima que la quema mundial de biomasa y materia orgánica produce una emisión aproximada de 2 Pg Carbono /año (Müller et al., 2013). Así mismo, influye en las interacciones atmósfera-vegetación y en la hidrología regional (Morton DC, Defries RS, Randerson JT, Giglio L, Schroeder W, 2008).

Teniendo en cuenta la mencionada importancia de los incendios, la presente investigación busca analizar el comportamiento espacio-temporal de los incendios durante los años 2009-2019

en dos zonas altamente pobladas: Norte de Suramérica (NSA) y Centro de Suramérica (CSA).

Así mismo, además de identificar y analizar un problema de carácter regional, recopila estrategias nacionales de prevención, mitigación, detección y atención oportuna puestos en marcha en países de Latinoamérica.

Problema

El fuego es un elemento esencial y natural en el funcionamiento de numerosos ecosistemas forestales. Los seres humanos vienen utilizando el fuego desde hace miles de años como instrumento de ordenación de la tierra. El fuego es uno de los elementos naturales que ha influido en las comunidades vegetales a lo largo del tiempo y como proceso natural cumple una función importante para mantener la salud de determinados ecosistemas. Sin embargo, a finales del siglo XX, la modificación de la dinámica establecida entre la actuación humana y los incendios y la mayor frecuencia del fenómeno de El Niño han dado lugar a una situación en la que los incendios son una amenaza importante para los bosques y la biodiversidad que contienen. Los bosques pluviales tropicales y los bosques nubosos, en los que no suelen producirse grandes incendios, fueron devastados por incendios incontrolados durante los años ochenta y noventa (FAO, 2001).

La alta diversidad biológica, la sostenibilidad de los recursos agua y suelo, así como algunas actividades humanas se ven afectadas en Colombia de forma notoria por los incendios de las coberturas vegetales. Este fenómeno se presenta de manera recurrente durante los periodos secos anuales y, tanto el área como la frecuencia de afectación, tienden al incremento en forma notoria, en especial en la región Andina, en la que afectan páramos, bosques húmedos andinos y áreas de plantaciones forestales, con causalidades asociadas a las necesidades de expansión y deficiencias en la educación ambiental de la población.

En el plano regional y local, modifican el volumen de biomasa, alteran el ciclo hidrológico con consecuencias sobre ecosistemas marinos como los arrecifes de coral, e influyen en el comportamiento de las especies vegetales y animales. El humo procedente de los incendios

puede reducir notablemente la actividad fotosintética (Davies, 1999) y perjudicar la salud de los seres humanos y de los animales.

Uno de los efectos ecológicos más importantes de los incendios es la mayor probabilidad de que se produzcan nuevos episodios del mismo tipo en los años subsiguientes, al caer los árboles, lo que permite que la luz del sol disminuya la humedad relativa del bosque y produzca una acumulación de combustible con un aumento de especies susceptibles a los incendios, como las herbáceas inflamables. La consecuencia de los incendios repetidos es perjudicial porque es uno de los factores principales del empobrecimiento de la biodiversidad en los ecosistemas de los bosques pluviales. Los incendios pueden ser seguidos de la colonización e infestación de insectos que perturban el equilibrio ecológico (IDEAM, 2014).

La sustitución de zonas extensas de bosque por herbáceas inflamables es uno de los efectos ecológicos más negativos de los incendios sobre los bosques pluviales tropicales. Estos procesos ya se han observado en algunas zonas de Indonesia y de la Amazonia (Turvey, 1994). Lo que antes era un bosque denso siempre verde se convierte en un bosque empobrecido poblado por un número reducido de especies arbóreas resistentes al fuego y una cubierta de arbusto (Cochrane, 2009).

En los bosques en los que el fuego no es un mecanismo de alteración natural, éste puede tener efectos devastadores sobre las **especies forestales de vertebrados e invertebrados**, no sólo porque les causa la muerte directa, sino también porque provoca efectos indirectos más duraderos como estrés y desaparición de hábitats, territorios, cobijo y alimento. La desaparición de organismos de gran importancia para los ecosistemas forestales, tales como invertebrados, polinizadores y descomponedores, puede retardar de forma muy significativa el índice de recuperación del bosque.

Incendios de la cobertura vegetal

La alta diversidad biológica, la sostenibilidad de los recursos agua y suelo, así como algunas actividades humanas se ven afectadas en Colombia de forma notoria por los incendios de las coberturas vegetales. Este fenómeno se presenta de manera recurrente durante los periodos secos anuales y, tanto el área como la frecuencia de afectación, tienden al incremento en forma notoria, en especial en la región Andina, en la que afectan páramos, bosques húmedos andinos y áreas de plantaciones forestales, con causalidades asociadas a las necesidades de expansión y deficiencias en la educación ambiental de la población. (IDEAM - Instituto de Hidrología, s.f)

Las estadísticas sobre incendios en Colombia permiten realizar análisis de su comportamiento bajo diferentes escenarios, esto es, por regiones, departamentos o municipios, con el fenómeno de El Niño o en condiciones climáticas normales, por cobertura vegetal afectada, por Corporación Autónoma Regional, por año o por mes, y de esta manera, poder utilizarlas para priorizar áreas, orientar acciones o sustentar la necesidad de realizar estudios más detallados (SIAC, 2020).

En Suramérica, el incremento de incendios recientes está asociado con períodos de sequía (Marengo, et al 2005-2008), en particular en la cuenca del Amazonas donde se ha asociado este aumento con eventos climáticos extremos como El fenómeno de “el Niño” - Oscilación Sur (ENOS) (Ray D, 2005) o con la Oscilación del Atlántico Norte (Marengo, et al 2005-2008). Los bosques húmedos tropicales de la Amazonía fueron también gravemente afectados durante las sequías de 1997, 1998, 2005, 2007, 2010 y 2015 por grandes incendios, muchos de los cuales se salieron de control desde zonas agrícolas y explotaciones ganaderas (Alencar Solórzano LA, 2004). El incremento de incendios también ha estado asociado a las interacciones entre la deforestación, ocasionada principalmente para el establecimiento de cultivos, en los que el uso

del fuego es la herramienta más efectiva para despejar el suelo (Dolors Armenteras, 2020) . La región Norte de Suramérica y en particular Colombia, Ecuador y Perú, también han sufrido un incremento en la frecuencia y extensión de incendios, aunque han pasado desapercibidos en la literatura. En estos países los incendios además ocurren en una amplia variedad de regiones geográficas, condiciones sociales, demográficas, económicas y ambientales, para las cuales se requiere un seguimiento minucioso (Armenteras D, 2013b).

En Suramérica el incremento de incendios recientes está asociado con periodos de sequías (Marengo et al., 2008), en particular en la cuenca del Amazonas dónde se ha asociado este aumento con eventos climáticos extremos como el fenómeno de “el niño”-Oscilación Sur (ENOS) (Ray D, 2005) o con oscilación del Atlántico Norte (Marengo, et al 2005-2008). Los bosques húmedos tropicales de la amazonia fueron gravemente afectados durante las sequías de 1997, 1998, 2005, 2007, 2010 y 2015 por grandes incendios, muchos de los cuales se salieron de control desde zonas agrícolas y explotaciones ganaderas (Alencar Solórzano LA, 2004). El incremento de incendios también ha estado asociado a las interacciones entre la deforestación, ocasionada principalmente para el establecimiento de cultivo, en los que el uso del fuego es la herramienta más efectiva para despejar el suelo (Armenteras, et al 2013) tanto en el Norte como en el Centro de Suramérica. Estableciendo un reto a futuro para las presentes y futuras generaciones.

La región del Norte de Suramérica y en particular Colombia, Ecuador y Perú, han sufrido un incremento en la frecuencia y extensión de los incendios, sin embargo, han pasado desapercibidos en la literatura. En estos países los incendios ocurren en una amplia variedad de regiones geográficas con condiciones sociales, demográficas, económicas y ambientales especiales .A pesar de ello, no se cuenta con una visión regional del problema, aspecto necesario para formular estrategias de prevención, mitigación y atención. Debido a esto, es fundamental

contar con estadísticas sobre incendios para establecer buenas políticas en seguridad contra incendios (Armenteras, Rodríguez, & Retana, 2013). Sin embargo, el Norte y Centro de Suramérica carece de esta herramienta. Si bien existen análisis anuales sobre incendios por parte de La Asociación Internacional para el Estudio de Asuntos Económicos sobre Seguros, “The Geneva Association”, y por parte del Comité Técnico Internacional para la Prevención y Extinción de Incendios (CTIF), estos no enfocan sus esfuerzos en las regiones: Norte de Suramérica (NSA) y Centro de Suramérica (CSA).

Tipos de ecosistemas según su relación con el Fuego

No todos los ecosistemas se relacionan igual con el fuego, desde una perspectiva ecológica algunos se benefician por el fuego y otros se ven gravemente afectados, esta relación varía en cuanto a los regímenes naturales de incendios, y con base en esta se pueden clasificar en ecosistemas sensibles al fuego, dependientes del fuego e independientes del fuego (Hardesty et al. 2005). Asociando esta clasificación con la de ecorregiones de la WWF (World Wildlife Fund) (Olson et al. 2001), podemos categorizar los principales biomas y sus ecosistemas de acuerdo con su relación con el fuego (Tabla 1).

Tabla 1. *Focos activos de fuegos (%) y área afectada (%) en los principales biomas en Colombia, Ecuador y Perú.*

Bioma	Categoría*	Colombia		Ecuador		Perú	
		Área (%)	Focos (%)	Área (%)	Focos (%)	Área (%)	Focos (%)
Bosques húmedos tropicales y subtropicales	Independiente	83,5	39	83,2	58	72,4	87
Bosques secos tropicales	Sensibles	3,6	11	11	27	2,2	3
Sabanas, matorral y pastizal	Dependiente	11,2	45	0	0	0	0
Sabanas y llanos semi-inundables	Sensibles	0	0	0,5	3	0	0
Puna y páramos andinos	Sensibles	0,5	0	2,9	4	18	4
Matorrales xerofíticos y desérticos	Independiente	0,9	4	1,4	5	7,3	5
Manglares	Independiente	0,3	0	1	2	0,1	0

Fuente: (Dolors Armenteras, Tania Marisol González, Orlando Vargas Ríos, María Constanza Meza Elizalde, 2020).

Dentro de los ecosistemas sensibles al fuego, encontramos todos aquellos que, debido a la composición y estructura de la vegetación, así como a las condiciones de humedad, la mayoría de las veces pueden inhibir la ignición y propagación del fuego. En otras palabras, no son muy inflamables, pero esta condición puede cambiar por efecto de cambios en el uso de la tierra, la invasión de pastos y arbustos pirófilos y el cambio climático. Algunos de los ecosistemas sensibles al fuego son los bosques secos, bosques andinos, páramos (subpáramo y páramo propiamente dicho) y el matorral espinoso. Todos estos ecosistemas han sufrido transformaciones a tal punto que presentan procesos extensos de sabanización, paramización, aridización y desertización (Dolors Armenteras, Tania Marisol González, Orlando Vargas Ríos, María Constanza Meza Elizalde, 2020).

En el caso de páramos y punas, la susceptibilidad a la ocurrencia de fuegos se relaciona con la acumulación de necromasa en macollas y rosetas (hojas muertas). En páramos que no han sido quemados se forma una matriz continua de necromasa entre el frailejónal-pajónal y constituye el factor más importante para el desarrollo de fuegos; además, las áreas con densidades altas de frailejones con necromasa en su base favorecen el inicio de los incendios. La más importante fuente de combustible son las hojas muertas, principalmente de *Calamagrostis effusa Steud.* Cerca del 80% de la fitomasa epígea de las macollas puede consistir en material muerto, lo mismo pasa con la puna, en donde se acumula más del doble de biomasa y se dobla la productividad en ausencia del fuego, también en macollas del género *Calamagrostis*. Otro de los factores clave es el bajo contenido de humedad en la vegetación y suelo durante la época seca ya que, en condiciones de sequía extrema, el alto contenido orgánico de los suelos de la puna puede conllevar a la ignición y sustentación de fuegos subterráneos. (Dolors Armenteras, 2020)

Finalmente, encontramos los ecosistemas que han evolucionado con el fuego y por ende se consideran dependientes, en estos ecosistemas las especies han desarrollado adaptaciones que les permiten responder de forma positiva al fuego e incluso facilitar su reproducción, por ende, la vegetación de éstos es inflamable y propensa al fuego. En nuestra área de estudio se encuentran las sábanas naturales de Colombia, ecosistemas de tierras bajas que se caracterizan por una estacionalidad marcada en las precipitaciones y la predominancia de vegetación herbácea, con árboles y arbustos en diferentes densidades de cobertura. Por otro lado, debemos indicar que si bien los páramos han sido incluidos en la categoría de ecosistemas sensibles al fuego, estos también han sido considerados como ecosistemas dependientes del fuego, en los cuales la alteración del régimen de fuego ha afectado la interfase páramo-bosque (Ramsay PM, 2014).

A partir del contexto anterior, el presente proyecto busca dar respuesta a la pregunta general:

¿Cuál fue el comportamiento espacio-temporal de los incendios del Norte y Centro de Suramérica durante los años 2009-2019?

Justificación

Es reconocido cada vez más el impacto de las actividades de carácter antrópico sobre los ecosistemas, dando lugar a fuertes modificaciones sobre los patrones espaciales de la biodiversidad y sus servicios a nivel global (Pimm SL, 1995). Los incendios en particular constituyen un importante factor en la dinámica y funcionamiento de los ecosistemas en todo el mundo. Es reconocido el papel que tiene el fuego como perturbación natural en muchos ecosistemas (Chen et al.2013), pero también es usado como una herramienta en el manejo de la tierra en muchos países, principalmente para generar cambios en el uso de suelo (Müller D, 2013) en condiciones legales e ilegales. El efecto del fuego en la estructura y funcionamiento de los sistemas naturales permite por ejemplo la expresión del banco de semillas mediante diversos mecanismos ecológicos (Parr C, 2003). No obstante, el fuego afecta de forma drástica la biodiversidad, distribución y abundancia de las especies (Chía EK, 2016), influenciando las redes tróficas (Bustamante MMC, 2006), modificando el uso de hábitats (Litt AR, 2011) y, mediando sobre múltiples servicios ecosistémicos como la fertilidad del suelo y la afectación del microclima entre otros (Müller D, 2013). La quema incontrolada de la vegetación en los países tropicales causa no sólo impactos ecológicos, sino también tiene efectos económicos y sociales a nivel local, e implicaciones de gran envergadura para el calentamiento global (Cochrane, 2009). Se estima que la quema mundial de biomasa y materia orgánica produce una emisión aproximada de 2 Pg Carbono/año (Müller D, 2013). Así mismo, influye en las interacciones atmósfera-vegetación y en la hidrología regional (Morton DC, 2008).

Teniendo en cuenta la mencionada importancia de los incendios, la presente investigación busca analizar el comportamiento espacio-temporal de los incendios durante los años 2009-2019 en dos zonas altamente pobladas: Norte de Suramérica (NSA) y Centro de Suramérica (CSA). Así mismo, además de identificar y analizar un problema de carácter regional, recopilará

estrategias nacionales de prevención, mitigación, detección y atención oportuna puestos en marcha en países de Latinoamérica.

Importancia del estudio del fuego

Son pocos los avances en investigación en los tres países del efecto de los incendios en el aire, pero existen estudios que ayudan a entender un poco esta dinámica. (Anaya JA, 2009).

Efectos del fuego sobre suelos: Los primeros estudios sobre fuegos y su efecto en los suelos aparecen en la década de los ochenta del siglo XX cuando se analizaron los cambios en la comunidad edafofaunística en suelos de sabanas del Vichada (Colombia) afectados por quemas. El fuego no solo impacta la vegetación sino también a las comunidades edáficas, de manera tal que se pueden ver alteradas en su composición, densidad y diversidad (Dolors Armenteras, 2020)

Otros estudios, que han analizado el efecto del fuego en los microorganismos asociados al suelo, han reportado efectos negativos en la abundancia y en la fijación de nitrógeno y fosforo de grupos funcionales bacterianos, inclusive hasta nueve meses después de la ocurrencia de la perturbación (Sánchez F, 2017), debido a las altas temperaturas en el suelo durante el incendio, a la reducción en la calidad del sustrato, a cambios en el pH y a factores micro climáticos post fuego. En el 2006, Sáenz Meneses también evaluó el efecto de los incendios forestales sobre grupos funcionales bacterianos edáficos fijadores de Nitrógeno libres (BFN) y solubilizadores de Fósforo (BSF) en plantaciones de *Eucalyptus cinérea* F. Muell. ex Benth. encontraron que en las áreas afectadas por fuegos hay una disminución significativa de la abundancia de estos grupos, así como un descenso en la actividad fijadora de Nitrógeno, que se da por el aumento en el pH y la disminución en los parámetros de humedad, materia orgánica y densidad aparente.

Otros estudios han diagnosticado microbiológicamente los suelos en páramos afectados por incendios forestales hasta 12 meses después de ocurrida la perturbación, encontrando que las

comunidades de bacterias involucradas en la fijación de nitrógeno tienen densidades similares a las que se encuentran en suelos sin afectación por fuego, mientras que para bacterias proteolíticas y solubilizadoras de fosfato, el fuego puede tener un efecto nocivo (Beltrán-Pineda ME, 2013).

Estudios recientes de efecto de la dinámica del fuego sobre el contenido del carbono orgánico del suelo en la transición sabana/bosques de galería de la Orinoquia Colombiana (Sánchez F, 2017), muestran que seis meses después de una quema hay menores valores de carbono orgánico en las áreas de borde del bosque, resaltando la importancia de esta zona de transición para la conservación de nutrientes y ciclo de carbono.

En zonas altoandinas se ha encontrado que los suelos contienen altos niveles de materia orgánica (Cuesta, et al 2011) y son susceptibles a los fuegos, especialmente en periodos de alta sequía donde pueden presentar ignición y propagación de fuegos subterráneos (Pastor, et al. 2017), causando enormes pérdidas de carbono en el suelo (Cuesta, et al. 2011)

En la región andina también se ha demostrado que los incendios afectan las propiedades del suelo, incrementando los valores de pH y bases intercambiables (Beltrán-Pineda ME, 2013), sobre todo en las zonas de páramo donde suceden quemas que generan una disminución en la concentración de nutrientes en los suelos y pérdida de materia orgánica (Camargo, et al 2012).

No obstante, todavía no es claro hasta qué punto los cambios asociados a incendios hacen que los suelos dejen de ser resilientes. Por ejemplo, en un análisis reciente del impacto de la gestión del uso de suelo y sus afectaciones en las reservas de carbono en pastizales de montaña en Perú, específicamente en el Parque Nacional del Manu, se muestra que los fuegos cambian la distribución y reducen la proporción del carbono en el suelo, pero que los pastizales son resilientes a esta pérdida (Oliver V, et al 2017).

Objetivos

Objetivo general

Analizar espacial y temporalmente los incendios del Norte y Centro de Suramérica entre 2009-2019.

Objetivo específica

- ✓ Determinar la serie temporal de número de incendios diarios multi-anual y multi-mensual en el Norte y Centro de Suramérica entre 2009-2019 haciendo uso del lenguaje de programación R.
- ✓ Identificar la distribución espacial de los incendios del Norte y Centro de Suramérica y su poder radiativo entre 2009-2019.
- ✓ Recopilar estrategias nacionales de manejo integral de incendios desde la prevención, detección y atención puestas en marcha en Suramérica.

Marco conceptual

A continuación, se incluyen conceptos fundamentales asociados a esta investigación:

Área cortafuegos – elemento de ruptura. “Superficie relativamente ancha en la que la vegetación natural, densa y muy inflamable, se modifica para conseguir otra vegetación de menor biomasa o menos inflamable, con el fin de que se detengan los fuegos de suelo que lleguen hasta ella o puedan controlarse más fácilmente, sirviendo de base para establecer líneas de defensa.” (Generalitat valenciana, 2012).

Conato. “Se utiliza para definir un fuego forestal de tamaño reducido, que afecta menos de una hectárea de terreno” (Vanguardia, 2017).

Extinción de un incendio. “Requiere la actuación de varios actores, como bomberos, agentes forestales o voluntarios que usan medios de trabajo aéreo y terrestre. Durante la extinción de un incendio, los medios aéreos permiten llegar a cualquier punto, por difícil que sea. En algunas ocasiones se utilizan aviones de carga en tierra, que disponen de cisternas para acumular grandes cantidades de agua. Los aviones anfibios pueden cargar agua desde tierra o directamente desde el agua, con un sistema de flotación” (Vanguardia, 2017).

Fases de un incendio.

- **Activo:** Se considera que un incendio está activo cuando el fuego se propaga sin control y el área que afecta sigue creciendo.
- **Estabilizado.** Un incendio forestal que está estabilizado sigue quemando, pero su evolución es más pequeña que la capacidad de las tareas de extinción.
- **Controlado.** Un fuego está controlado cuando se ha conseguido parar su avance y las llamas ya no se extienden libremente, a pesar de tener todavía algún punto caliente que

sigue quemando.

- **Extinguido.** Un incendio se da por extinguido cuando ya no tiene capacidad para seguir quemando” (Vanguardia, 2017).

Firma espectral. “Diferentes tipos de superficies, como el agua, la tierra desnuda o la vegetación, reflejan la radiación de manera distinta en varios canales. La radiación reflejada en función de la longitud de onda se llama firma espectral de la superficie” (Eduspace, 2014).

Incendio forestal. Fuego que se extiende libremente sin control ni límites preestablecidos, destruyendo vegetación viva o muerta en terrenos de aptitud preferiblemente forestal o que sin serlo están destinados a actividades forestales y en áreas de importancia ambiental.” (Minambiente, 2000).

Información sobre incendios para el sistema de gestión de recursos (FIRMS). “El Sistema de información de incendios para la gestión de recursos (FIRMS) distribuye datos de incendios activos en tiempo casi real (NRT) dentro de las 3 horas posteriores a la observación satelital tanto del espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) como de la serie de radiómetros de imágenes de infrarrojos visibles (VIIRS)”.

MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada). “Sensor o instrumento a bordo de los satélites Aqua y Terra capaz de obtener anomalías térmicas asociadas a incendios en superficie alrededor del mundo. Su resolución espacial es de 1 km y su resolución temporal es de 2 veces al día sobre un punto (x, y) específico . A partir de sus 36 bandas espectrales puede identificar elementos o fenómenos en superficie dado sus firmas espectrales” (NASA, 2020).

Monóxido de Carbono (CO). “Se forma a partir de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Este es un caso común donde una proporción del carbón se oxida solamente a monóxido de carbono, mientras que la combustión completa conduce a la

formación de dióxido de carbono” (SISAIRE, 2020).

Poder radiativo de los fuegos (FRP). “Componente radiativo de la energía liberada en la quema de biomasa., la unidad es MW”.

Satélites Aqua y Terra. “Son satélites polares (siguen una trayectoria de norte a sur pasando por los polos de la tierra). Gracias a estos satélites se cuenta con información histórica (2009-2019). Sus características son”:

Terra

- Órbita polar, hora de cruce ecuatorial: 10h30
- Cobertura: mundial.
- Datos disponibles: 18 de diciembre de 1999 – presente.
- Resolución temporal: 1-2 observaciones al día.
- Sensores: ASTER, CERES, MISR, MODIS, MOPITT.

Aqua

- Órbita polar, hora de cruce ecuatorial: 13h30
- Cobertura: mundial
- Datos disponibles: 4 de mayo de 2002 – presente
- Resolución temporal: 1-2 observaciones al día
- Sensores: AIRS, AMSU, CERES, MODIS, AMSR-E (NASA, 2020).

Metodología

En el presente proyecto se realizó un análisis espacio temporal de los incendios del Norte y centro de Suramérica entre 2009 y 2019. Se utilizó información del espectro radiómetro de

imágenes de media resolución (MODIS) a bordo de los satélites Aqua y Terra de la NASA. Los datos de incendios con una confianza mayor al 75% fueron seleccionados y contados diariamente mediante el lenguaje de programación R. Posteriormente se analizó a nivel mensual y anual mediante diagramas de caja y bigote. Así mismo, se identificó donde se ubican los incendios con mayor poder radiativo. Conjuntamente se incluyó estrategias nacionales de prevención, mitigación, detección y atención oportuna puestos en marcha en países de Latinoamérica.

Área de estudio

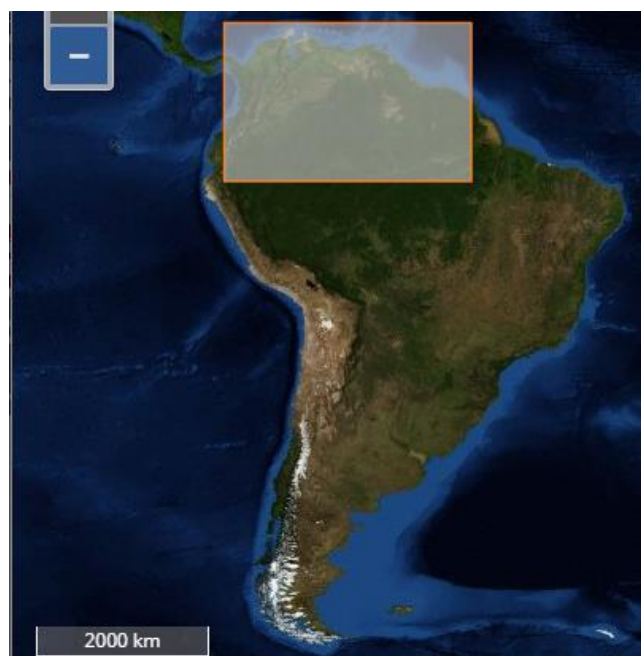
En esta investigación se consideró el Norte de Suramérica como el dominio (longitud = -79.0 , latitud = -4.4 como esquina inferior izquierda; longitud = -51.7 , latitud = 13.1 como esquina superior derecha) (Figura 1a). El centro de Suramérica se consideró como el dominio (longitud = -79.0 , latitud = -26.5 como esquina inferior izquierda; longitud = -34.2 , latitud = -4.4 como esquina superior derecha) (Figura 1b).

El Macizo de las Guayanas se extiende, de Oriente a Occidente, desde muy cerca del Océano Atlántico hasta la Sierra de la Macarena, al pie de los Andes; y en dirección Norte Sur, va desde las vegas del río Orinoco hasta unos doscientos kilómetros antes de llegar al río Amazonas. En su mayor parte el Macizo ha sido destruido por la acción de los movimientos tectónicos y por interperismo, a lo largo de centenares de millones de años desde el Precámbrico hasta hoy, dejando extensas planicies donde las rocas antiguas subyacen bajo delgadas capas de arena o de sedimentos (peniplanos y pediplanos). Los contactos entre esas superficies de erosión y los sedimentos más recientes están marcados por saltos y raudales, producto de la erosión diferencial de superficies con diversa dureza. En algunos lugares de esa planicie aparecen peñoles (montañas islas), pequeñas serranías y mesas que son cerros testigos de las antiguas alturas hoy

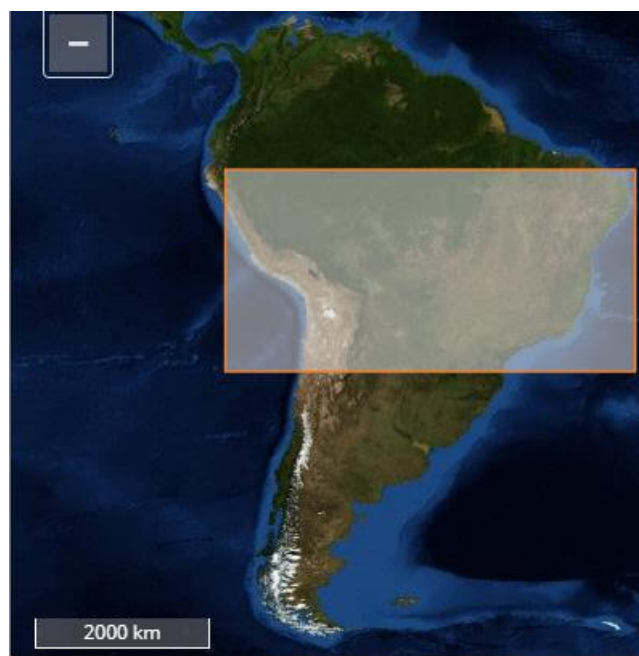
desaparecidas. En la parte colombiana y venezolana los ríos que nacen en la planicie guayanesa se bifurcan bien hacia el Amazonas, bien hacia el Orinoco (DOMÍNGUEZ CAMILO, 2005).

Figura 1. Área de estudio mostrada en forma rectangular para (a.) Norte de Suramérica, (b.) Centro de Suramérica. Fuente: Obtenido a partir de FIRMS

(a.)



(b.)



Análisis espacio-temporal de incendios entre 2009 y 2019

Los incendios se recopilieron gracias al sensor MODIS a bordo de los satélites Aqua y Terra de la NASA. Las altas temperaturas asociadas con los incendios activos generaron un notable incremento de la radiación emitida en el infrarrojo en comparación con el fondo (los alrededores) (NASA, 2020). Esto les permite a los sensores espaciales detectar incendios (NASA,

2020). Esta información se obtuvo a partir de la plataforma “Fire Information for Resource Management System” (FIRMS) (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>) de la NASA. Se seleccionaron aquellos incendios con una confianza mayor o igual al 75% con el fin de asegurar su alta calidad. Los incendios seleccionados fueron contados diariamente mediante el lenguaje de programación R. Posteriormente se analizaron su temporalidad a nivel mensual y anual mediante diagramas de caja y bigote con el fin de identificar los periodos más y menos críticos en el Norte y Centro de Suramérica. Así mismo, a partir de la información proveniente de MODIS, se identificaron las zonas del norte y centro de Suramérica más críticas para la población debido a su alto poder radiativo, haciendo uso de herramientas de Sistema de Información Geográfica-SIG.

Recopilación de estrategias de prevención, mitigación, detección y atención oportuna de incendios

En el NSA y CSA la prevención, mitigación, detección y atención oportuna de los incendios no ha sido un tema fundamental en la Política Nacional. En Colombia se está buscando aprobar con el proyecto de ley 221 de 2019, los lineamientos para el manejo integral del fuego y se dictan otras disposiciones en materia de prevención de incendios forestales. Como apoyo, la presente investigación recopiló estrategias nacionales de prevención, mitigación, detección y atención oportuna puestas en marcha en países de Latinoamérica o contempladas en literatura científica de amplia aceptación.

Discusión de resultados.

Se utilizó información del espectro radiómetro de imágenes de media resolución (MODIS) a bordo de los satélites Aqua y Terra de la NASA. Esta información se obtuvo a partir

de la plataforma “Fire Information for Resource Management System” (FIRMS) (Francois Jean, 2011).

Se analizó su temporalidad a nivel mensual y anual mediante diagramas de caja y bigote con el fin de identificar los periodos más y menos críticos en el Norte y Centro de Suramérica. Conjuntamente se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis con el fin de estimar si existía una diferencia significativa entre los promedios mensuales y anuales de conteos diarios de incendios para ambas zonas de estudio. Así mismo, a partir de la información proveniente de MODIS se identificaron espacialmente los incendios cuyo poder radiativo [MW] se encontró por encima del percentil 90. Las zonas del Norte y Centro de Suramérica son las más críticas para la población debido a su alto poder radiativo, de acuerdo con las investigaciones previas y a esta investigación se identificó este resultado.

Análisis espacial de los incendios del Norte de Suramérica

El mapa se generó con la información de fuegos de la base de datos de detección remota de focos activos de anomalías térmicas del sensor MODIS, descargada a través de FIRMS (Fire Information for Resource Management System), empleando los datos con un nivel de confianza mayor o igual a 70 %. Con esta información se construyó una superficie de densidad para identificar las áreas que presentaron mayores eventos de fuego por unidad de área. El cálculo de densidad de puntos por unidad de área se realizó empleando la herramienta *R Studio*.

Figura 2. Densidad de fuegos activos detectados con MODIS para el periodo 2009-2019

(Número de fuegos/100 km²). Centro de Suramérica.

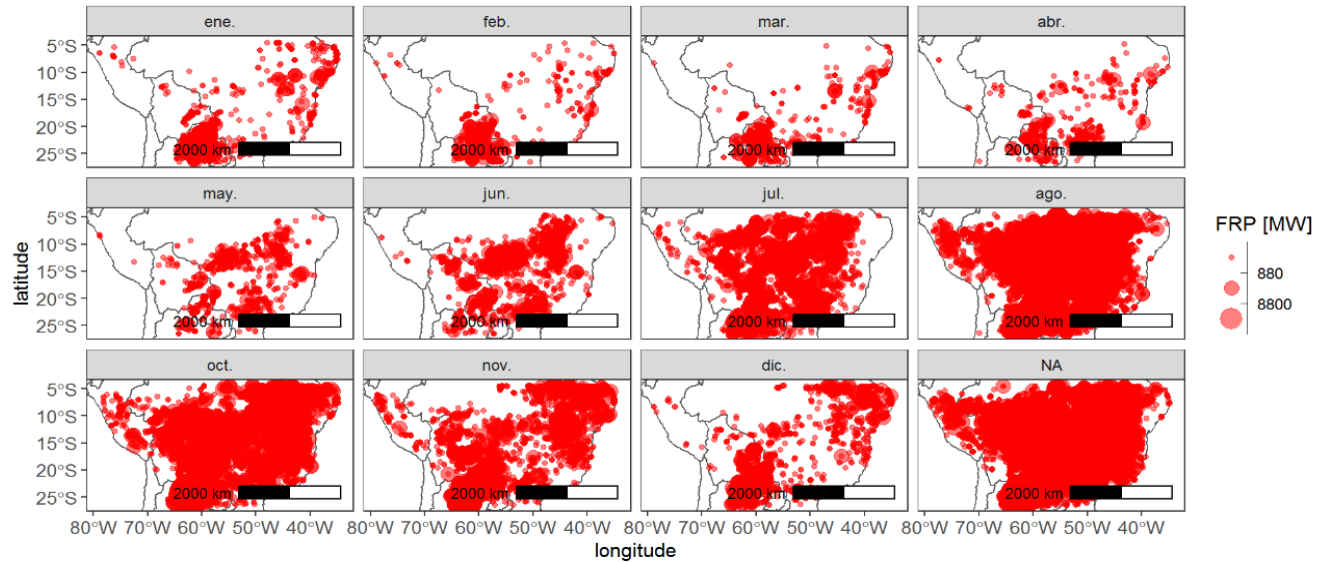
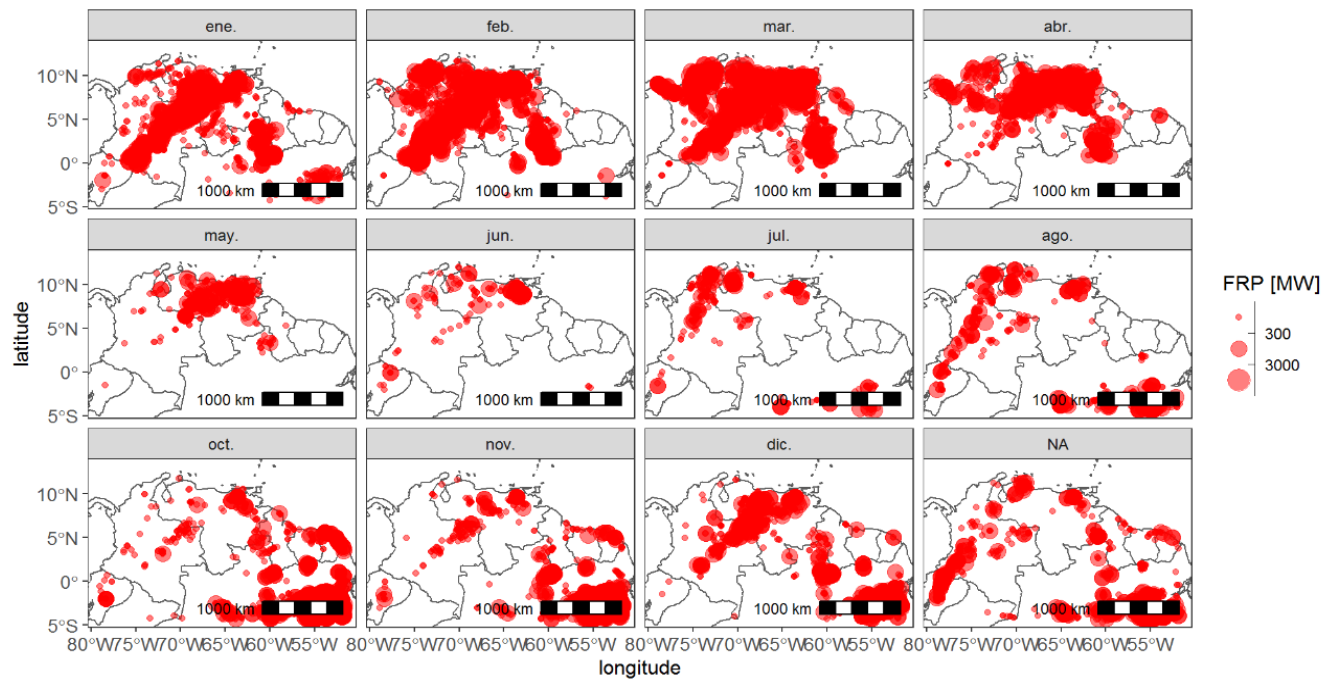


Figura 3. Densidad de fuegos activos detectados con MODIS para el periodo 2009-2019 (# fuegos/100 km²). Norte de Suramérica.

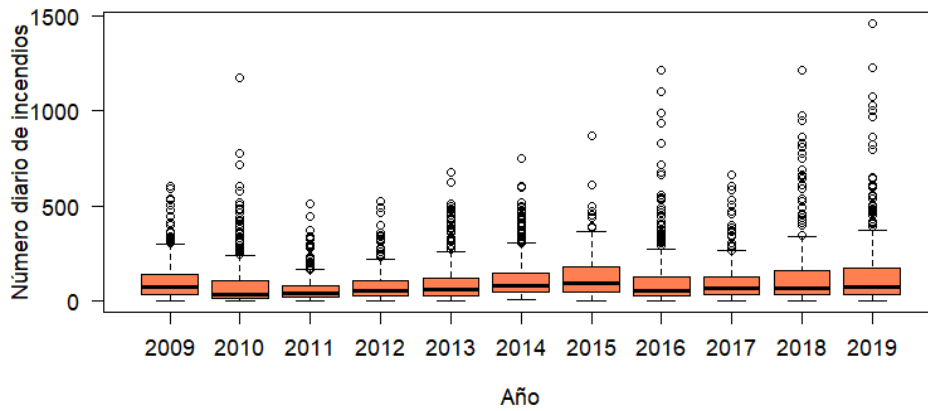


Análisis temporal de los incendios del Norte de Suramérica

En el NSA, durante el 2009-2019 el conteo diario de incendios presenta una mediana de 61 incendios/día (1er cuartil: 27; 3er cuartil: 130) y valores máximos de hasta 1460 incendios/día. El promedio de 106,4 incendios/día sugiere una mayor concentración de días con gran número de incendios (> 61). Por otro lado, en el CSA, durante el 2009-2019 el conteo diario de incendios presenta una mediana con 83 incendios/día más que el NSA (1er cuartil: 57; 3er cuartil: 501) y valores máximos de hasta 7579 incendios/día (6119 incendios/día más que en el NSA). El promedio de 487,6 incendios/día sugiere una mayor concentración de días con gran número de incendios (> 144). Los resultados anuales del conteo diario de incendios entre 2009-2019 muestran que el CSA pudo llegar a presentar 5000 incendios más que el NSA. Ambas zonas presentaron altas anomalías durante el 2010 y 2019 (Figura 4). Sin embargo, a pesar de estar en una misma región (Latinoamérica) presentan un comportamiento diferenciado. En el NSA se presume una tendencia creciente alta en el número diario de incendios, mientras que en el CSA la tendencia ascendente es menos pronunciada. A nivel mensual (Figura 5), el NSA se ve principalmente impactado durante los primeros cuatro meses del año, mientras que el CSA presenta un incremento en más del 100% entre julio y noviembre en comparación con los demás meses. Al comparar los grupos a nivel anual y mensual para cada zona según la prueba de Kruskal-Wallis se obtuvo una diferencia significativa en todos los casos (valor-p < 1%).

Figura 4. Diagrama anual de caja y bigotes asociado al conteo diario de incendios en el (a.) Norte de Suramérica y (b.) Centro de Suramérica durante 2009-2019.

(a.) NSA



(b.) CSA

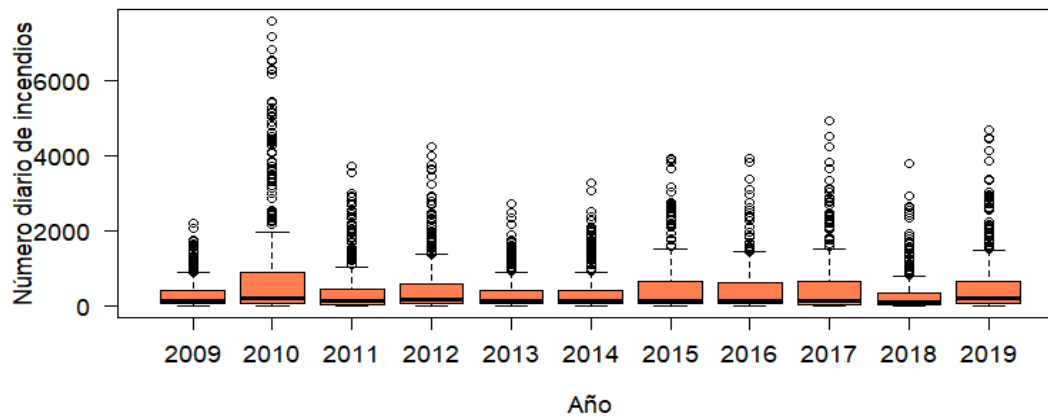
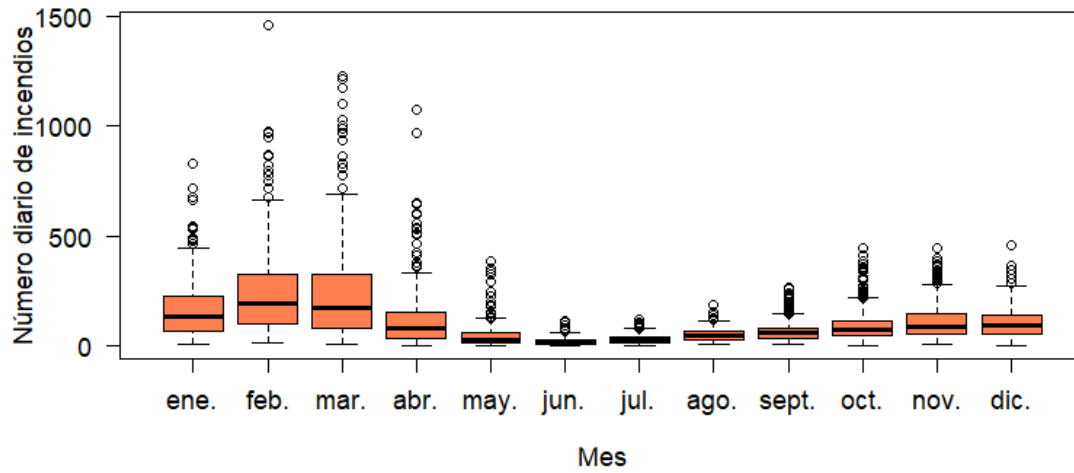
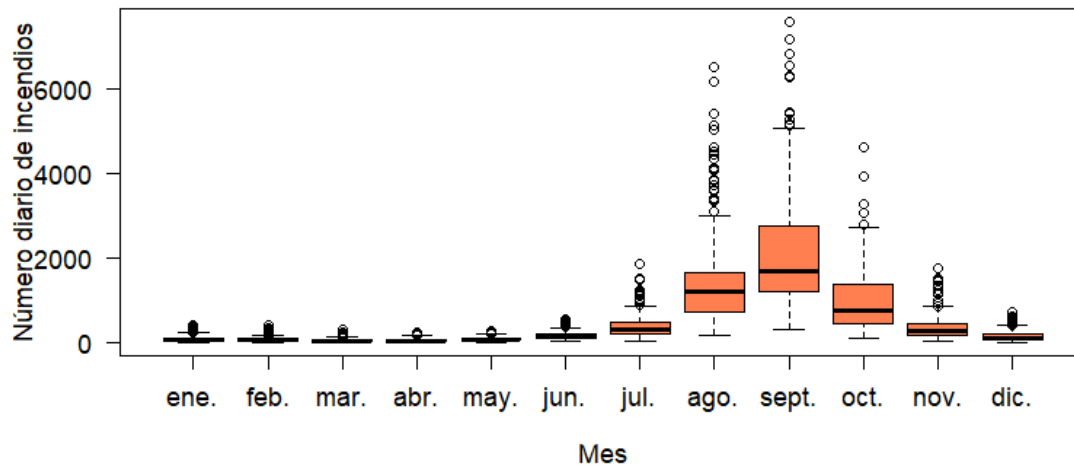


Figura 5. Diagrama multimensual de caja y bigotes asociado al conteo diario de incendios en el (a.) Norte de Suramérica y (b.) *Centro de Suramérica durante 2009-2019.*

(a.) NSA



(b.) CSA



La comparación de los resultados obtenidos en esta investigación con los resultados obtenidos por Armenteras en su estudio “Caracterización de las interacciones del patrón espacial del fuego con el clima y la vegetación en Colombia” evidencia que también la mayor incidencia fue en el año 2003 donde el número de incendios incremento generando un impacto en más de 1.000.000 hectáreas. Así mismo, se evidencio una semejanza con el incremento después del año 2010 respecto a la cantidad de hectáreas afectadas e incendios provocados.

Al comparar los resultados de la presente investigación con el artículo científico “Dinámica e impulsores de la deforestación en diferentes tipos de bosques en América Latina: tres décadas de estudios (1980-2010)” por Armenteras se constató las pérdidas en biodiversidad por incendios generados en los países del NSA. Conjuntamente se identificó que la deforestación y los incendios forestales incrementaron anual y especialmente por influencia antrópica.

En la investigación “Dinámica del paisaje en la Amazonía Noroccidental: una evaluación de pastos, incendios y cultivos ilícitos como impulsores de la deforestación tropical” de Armenteras, se infirió que durante 2009 (primer año de estudio en esta investigación) el Noroeste de la Amazonia colombiana presentó un desequilibrio en sus ecosistemas debido a la intencionalidad del uso del fuego. Se estimó un aumento anual del 0,06% en la deforestación en la que la quema fue uno de los factores principales durante el periodo comprendido entre 2000 y 2009. En la presente investigación no se encontró una tendencia ascendente en el número de incendios diarios por encima del 1%, sin embargo, sí se pudo evidenciar cambios anuales por posibles influencias de los fenómenos ENOS: el Niño y la Niña.

Los incendios forestales relacionados con las prácticas de tala y quema, tradicionalmente utilizados para la conversión de bosques en tierras agrícolas y pastizales, se han destacado como un factor importante que degrada y erosiona los bosques y altera su composición y estructura de acuerdo con las investigaciones previas a los incendios forestales en el 2013. A su vez, la tala de

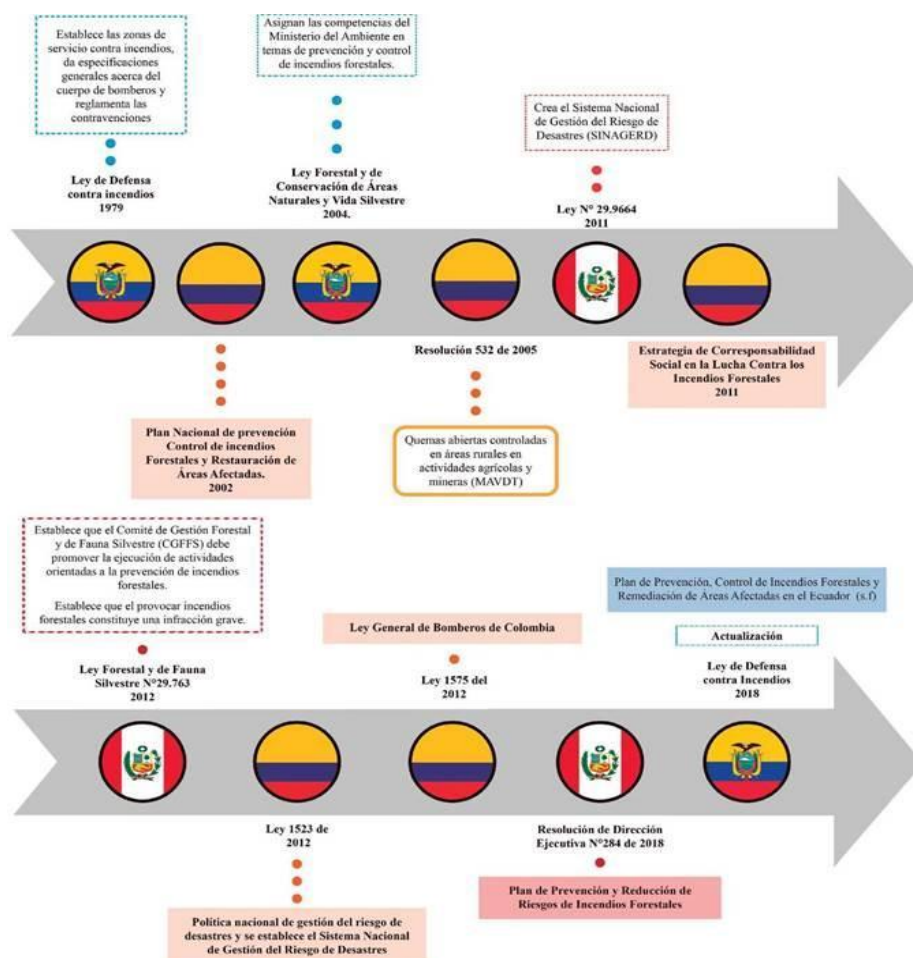
bosques también da como resultado la fragmentación del bosque, lo que aumenta el número de bordes de bosque y, por lo tanto, la alteración de las condiciones de humedad del subdosel, lo que a su vez aumenta la susceptibilidad de los fragmentos restantes al fuego (Armenteras, 2017). Así las cosas, el uso del fuego para la limpieza y el manejo de la tierra son una de las principales amenazas para los bosques neotropicales y una de las fuentes más importantes de emisiones de contaminantes climáticos y atmosféricos.

Recopilación de estrategias de prevención, mitigación, detección y atención oportuna de incendios

En relación con el manejo del fuego, se identificó que en los tres países (Colombia, Perú y Ecuador) contemplan el fuego como una amenaza por lo cual su gestión se hace solo desde la supresión, siendo prohibida la quema en cualquier ecosistema natural, aun cuando hay investigaciones que señalan que se debe contemplar la posible respuesta positiva de algunos ecosistemas al fuego.

El artículo afirma "Por ejemplo, el análisis de los incendios en ecosistemas de humedales de Perú ha conllevado a pensar que no hay un manejo y seguimiento adecuado de los incendios. Se desconoce si el fuego tiene o no un impacto positivo sobre este ecosistema y tampoco se sabe si hay que enfocar el manejo solo en el control de incendios o si por el contrario, el fuego debe formar parte de los planes de gestión (Aponte, et al 2015).

Figura 6. Secuencia histórica de los años 1979-2018 a las iniciativas gubernamentales para el manejo del fuego en Colombia, Ecuador y Perú. Autoría de (Armenteras, et al 2020)



Considerando la secuencia histórica sobre el manejo del fuego, se identificó que el tema normativo es casi nulo en dichos países, comparándolo con otros países como Costa Rica donde se cuenta con una normativa que busca tener metas claras y estrategias para combatir los incendios forestales.

Para tener una estrategia de manejo integral Costa Rica creó el **Decreto N° 37.480/MINAET** - Declara la Estrategia Nacional de Manejo Integral del Fuego en Costa Rica 2012-2021 y su Plan Nacional de Acción como los instrumentos oficiales para la planificación,

control, seguimiento y evaluación en esta materia, ratifica a la Comisión Nacional sobre Incendios Forestales (CONIFOR), también diseñan el Programa Nacional de Manejo Integral del Fuego, el Comité Técnico Nacional de Incendios Forestales (COTENA) y el Centro Nacional de Manejo Integral del Fuego (CENMIF) del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). En este Decreto de 3 páginas recopila varias normas, contratación administrativa, reglamentos entre otros aspectos para fortalecer la estrategia y así poder combatir el fuego.

Una de las estrategias vitales para combatir el manejo del fuego se encuentra en el artículo N°3 que indica:

“La comisión Nacional sobre incendios forestales (CONIFOR) estará integrada por un representante titular y un suplente, delegados por la máxima autoridad de cada una de las siguientes instrucciones”:

- A. Sistema Nacional de Área de Conservación, siendo el representante titular el coordinador de dicha comisión; al que se le reconocerá como Coordinador Nacional de la CONIFOR.
- B. Benemérito cuerpo de bomberos de Costa Rica, quién desempeñará la secretaría de la comisión.
- C. Ministerio de Agricultura y Ganadería .
- D. Ministerio de seguridad pública.
- E. Comisión Nacional de prevención de riesgos y atención de emergencias.
- F. Instituto Costarricense de electricidad.
- G. Instituto de desarrollo rural.
- H. Instituto Costarricense de acueductos y alcantarillados.
- I. Instituto meteorológico nacional.
- J. Benemérita cruz roja costarricense.
- K. Asociación de voluntarios para el servicio en las áreas silvestres protegidas.

Con esta creación del comité se puede designar responsables y está inmerso dentro de las responsabilidades asignadas por el cargo, aparte de las capacitaciones que deben realizar cada dos años por autoridades competentes para así tener los conocimientos claros y poder actuar en caso de emergencia. Es importante que los designados al cargo cumplan con la experiencia asignada en el campo y tener capacitaciones en el manejo del fuego.

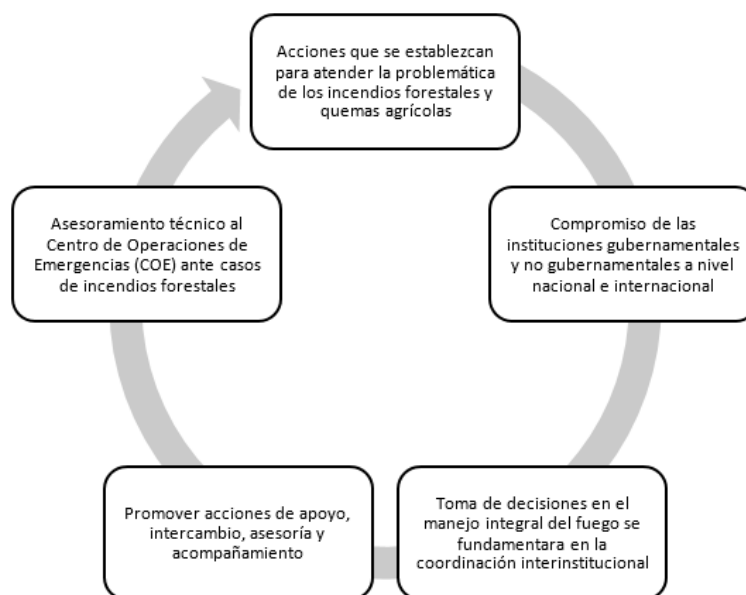
Para cumplir con la creación de los diferentes comités deben efectuar con las funciones designadas en dicho Decreto- artículo 6 que nos indica literalmente:

- a. Realizar reuniones ordinarias y extraordinarias, convocadas por el Coordinador Nacional o la Secretaría de la Comisión, debiendo sesionar una vez al mes o bien cuando se amerite, de acuerdo con el reglamento de funcionamiento vigente.
- b. Representar al país en las diversas actividades de manejo del fuego que se llevan a cabo a nivel nacional e internacional.
- c. Establecer mecanismos de coordinación y contacto en el ámbito nacional e internacional, para aunar esfuerzos y fortalecer las acciones de manejo integral del fuego.
- d. Fortalecer acciones que permitan la incorporación y participación de la sociedad, organizaciones comunales, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales.
- e. Implementar a nivel de cada institución un Plan Anual de Trabajo, con base en las líneas estratégicas descritas en la Estrategia Nacional de Manejo Integral del Fuego en Costa Rica.
- f. Implementar y apoyar acciones conjuntas para el cumplimiento de las actividades descritas en el Plan Nacional de Acción de Manejo Integral del Fuego.
- g. Establecer acciones de coordinación interinstitucional para mejorar las diversas actividades de manejo integral del fuego que se lleven a cabo a nivel nacional.

- h. Brindar apoyo humano, técnico, logístico y económico para llevar a cabo actividades de prevención, uso adecuado del fuego, atención de emergencias por incendios forestales e investigación a nivel nacional; así como lo requerido por las Comisiones Regionales de Manejo Integral del Fuego.
- i. Apoyar técnica, logística, económicamente y con personal al Centro Nacional de Manejo Integral del Fuego (CENMIF).
- j. Realizar las coordinaciones con los entes respectivos, en caso de solicitar asistencia técnica o atención de incendios forestales en otros países.
- k. Aprobar el Plan Anual de Trabajo y de Contingencia de la CONIFOR.
- l. Dar cumplimiento al reglamento interno de funcionamiento de la CONIFOR. (La Gaceta N° 92 Del 15 De mayo Del 2013 Poder Ejecutivo 2013)

Otro aspecto significativo es promover el desarrollo de los programas institucionales y actividades relacionadas al manejo del fuego, adicional que, para el cumplimiento de las funciones de la CONIFOR, se tendrán como políticas principales las siguientes:

Figura 7. Cumplimiento de las funciones de la CONIFOR Fuente: (La Gaceta N° 92 Del 15 De mayo Del 2013 Poder Ejecutivo 2013)



En el Artículo 13. Nos indica - Con el propósito de atender la problemática de los incendios forestales, todas las entidades Gubernamentales que manejan fondos públicos designarán de acuerdo con la normativa jurídica vigente; los recursos humanos, materiales, logísticos, técnicos y económicos necesarios, que las entidades responsables requieran, y así puedan llevar a cabo las diversas actividades de Manejo Integral del Fuego, promoviendo con ello una mejor calidad de vida de la población, la protección y conservación de la biodiversidad” (La Gaceta N° 92 Del 15 De Mayo Del 2013 Poder Ejecutivo 2013)

Gracias a este artículo se tendrá el presupuesto financiero para poder combatir los incendios forestales y así poder conservar el área nativa de los países.

Plan de capacitación

Dentro de la prevención, mitigación, detección y atención otro aspecto importante es el **plan de capacitación** es una serie de acciones de entrenamiento y formación de personas, donde le transfieren un conocimiento puede servir de actividades teóricas, prácticas o combinadas y

en este caso del manejo del fuego es importante que las personas a cargo se estén capacitando y entrenando no solamente en el aspecto físico o ambiental sino también emocional.

Para dar cumplimiento con este plan se requiere de recursos humanos, financieros y de infraestructura para así poder brindar la información oportuna y dar un buen manejo del fuego. Adicional las capacitaciones es vital las diferentes herramientas tecnológicas con las cuales contamos hoy en día como el diseño de infografías que se puede compartir por diferentes plataformas para que más personas de diferentes partes del mundo conozcan la importancia del fuego. A continuación, se comparte una infografía:

Figura 8. Infografía del aprendamos a manejar el fuego

Fuente: (Sistema de Monitoreo y alerta de riesgo de incendios forestales, 2000).



Para prevenir los incendios forestales se debe tener en cuenta:

Permito de desmonte y quema Planificación Calendario de quema Brechas cortafuegos Altas temperaturas Fuertes vientos

Proyecto ejecutado por:

Conclusiones

- Se identificó que en el NSA los focos de incendios aumentan en los primeros 3 meses de cada año; mientras que en el CSA se presenta entre Julio-noviembre, una de las hipótesis es por la variación en el cambio climática y la deforestación que se ha generado en estos lugares.
- El NSA es afectado por incendios de más de 3000 MW en la cuenca de la Orinoquia; mientras que el CSA es afectado en más de un 90% por incendios de más 8800 MW.
- Los incendios del CSA no solo tuvieron una mayor extensión de impacto en comparación al NSA, también tuvieron un mayor poder de destrucción debido a su alto poder radiativo.
- Se identificó que al implementar una norma donde se exija la importancia de conservar y protección de los recursos naturales, sobre la prevención de los incendios forestales incrementa la responsabilidad de toda la comunidad sobre la prevención y promoción de los incendios.

Recomendaciones

Se debe implementar un plan de capacitación, entrenamiento e inducción enfocado en las necesidades, aspectos e impactos ambientales identificado en cada zona donde las comunidades y organizaciones fortaleciendo la importancia de manejar el fuego y como optimizar los recursos brindados para este fin.

Este proyecto es con el fin que las autoridades competentes participen en la creación de un Comité Nacional sobre incendios forestales y normativa legal vigente que fortalezca el tema del manejo del fuego.

Poder dar avance con el **proyecto de ley 221 de 2019** que nos habla sobre Por medio de la cual se establecen lineamientos para el manejo integral del fuego y se dictan otras disposiciones en materia de prevención de incendios forestales y empezar a generar conciencia sobre cuidar nuestra fauna y flora.

Se debe compartir más información sobre el manejo de fuego y las consecuencias de este ya que la documentación existente es casi nula, con las herramientas tecnológicas, se debe realizar más difusión de la información como infografías, videos cortos, capacitación por parte de las entidades gubernamentales, incluyendo el lenguaje inclusivo para personas con discapacidad.

Se identifican aún vacíos de información que impiden el diseño apropiado de estrategias de conservación que involucren el rol del fuego en los diferentes ecosistemas, por lo tanto, relacionamos a continuación los temas específicos que consideramos deben ser abordados en investigaciones futuras.

El avance del conocimiento tecnológico en herramientas de Mapeo colaborativo (teledetección y Sistemas de Información Geográfica) ha permitido reconocer un aumento en la incidencia de incendios en ecosistemas sensibles o independientes al fuego; y aunque se reconoce que la relación natural con el fuego varía según el tipo de ecosistema, aún no se han

identificado claramente los regímenes naturales del fuego, lo que dificulta determinar en qué medida los eventos de fuego se ven alterados por las actividades antrópicas y el cambio climático. *Asimismo, no hay claridad sobre el cambio en el régimen del fuego en los ecosistemas dependientes del fuego, ni se conoce el papel del fuego en las áreas de transición entre ecosistemas sensibles al fuego y dependientes del fuego, como es el caso de la transición de la sabana y bosque* (Dolors Armenteras, 2020)

Es importante promover las investigaciones del post- fuego para poder abarcar mayores escalas temporales y caracterizar de forma precisa la dinámica del fuego y sus impactos negativo o positivos en el lugar del incendio, para este ítem es importante involucrar a la comunidad y enseñarles de manera objetiva dar la alerta post-incendios y qué daños se puede presentar.

Ninguno de los países mencionados en este proyecto ha evolucionado con la normativa vigente para manejar el fuego como lo ha diseñado e implementado Costa Rica.

Bibliografía

- Anaya JA. (2009). *Estimación mensual de emisiones por biomasa quemada para Colombia basado en imágenes de satélite.*
- Aponte H, Ramírez W, Lértora G, Vargas R, Hil F, Carazas N, L. R. (2015). *Incendios en los humedales de la costa central del Perú: ¿una amenaza frecuente?*
- Armenteras D Gibbes C Anaya JA Dávalos LM. (2017). *Integrating remotely sensed fires for predicting deforestation for REDD+. Ecol. Appl.* 27, 1294–1304.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/eap.1522>
- Beltrán-Pineda ME, L.-F. L. (2013). *Grupos Funcionales de Microorganismos en Suelos de Páramo Perturbados por Incendios Forestales. Rev. Ciencias.* 17, 121.136.
<https://doi.org/https://doi.org/10.25100/rc.v17i2.490>
- Camargo JC, Dossman MÁ, Rodríguez JA, Arias LM, G.-Q. J. (2012). *Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el parque nacional natural de Los Nevados, Colombia.* 61, 151–165.
- Cardoso H, S. M. (1976). *Estudios ecológicos en el páramo de Cruz Verde, Colombia. III. La biomasa de tres asociaciones vegetales y la productividad de Calamagrostis effusa (H.B.K.) Steud y Paepallanthus columbiensis Ruhl. en comparación con la concentración de clorofila. Caldas.* 11, 69.83.
- Chamorro C, S. L. (1987). *Cambios en la Comunidad Macrofaunística en Suelos del Vichada (Quartzipsammens Haplustox) Afectados por las Quemadas.*
- Chen Y, Morton DC, Jin Y, Collatz GJ, Kasibhatla PS, van der Werf GR, DeFries RS, R. J. (2013). *Long-term trends and in-terannual variability of forest, savanna and agricultural*

fires in South America. Carbon Manag. 4, 617–638.

<https://doi.org/https://doi.org/10.4155/cmt.13.61>

Chia EK, Bassett M, Leonard SWJ, Holland GJ, Ritchie EG, Clarke MF, B. A. (2016). *Effects of the fire regime on mammal occurrence after wildfire: Site effects vs landscape context in fire-prone forests. For. Ecol. 363, 130–139.*

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.12.008>.

Coral FR Chamorro JP. (2016). *Zonificación de amenaza a incendios forestales en el departamento del Cauca.*

Dolors Armenteras, Tania Marisol González, Orlando Vargas Ríos, María Constanza Meza Elizalde, I. O. (2020). *Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. 42(1).*

<https://doi.org/https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>

DOMÍNGUEZ CAMILO. (2005). *LA GRAN CUENCA DEL ORINOCO.*

FAO. (2001). *Los incendios forestales y la diversidad biológica.*

<http://www.fao.org/3/y3582s/y3582s08.htm>

Francois Jean. (2011). *Aplicaciones del sensor MODIS - CIGA-UNAM.*

Información Sistema de Gestión Ambiental de Colombia. (2013). *Incendios de la cobertura vegetal.* <http://www.siac.gov.co/incendios>

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f) *Incendios De La Cobertura Vegetal.* <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/incendios-cobertura-vegetal>

La Gaceta N° 92 Del 15 De mayo Del 2013 Poder Ejecutivo 2013

<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/cos123805.pdf>

Litt AR, S. R. (2001). *Interactive effects of fire and nonnative plants on small mammals in Grasslands. Wildl. Monogr. 176 (1)*, 1–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wmon.2>

MA, C. (2009). *Tropical Fire Ecology*.

https://doi.org/http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S0366-5232202000010000100033&lng=en

Marengo, J. A., Nobre, C. A., Tomasella, J., Oyama, M. D., Sampaio de Oliveira, G., Oliveira, R. de, Camargo, H., Alves, L. M., & Foster Brown, I. (2008). The Drought of Amazonia in 2005. *AMS, 21(0)*, 495–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1175/2007JCLI1600.1>

Morton DC, Defries RS, Randerson JT, Giglio L, Schroeder W, V. der W. G. (2008).

Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. 14 (10), 2262–2275. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01652.x>.

Müller, D., Suess, S., Hoffmann, A. A., & Buchholz, G. (2013). The Value of Satellite-Based Active Fire Data for Monitoring, Reporting and Verification of REDD+ in the Lao PDR. *Springer King*, 7–13. <https://doi.org/10.1007/s10745-013-9565-0>

Oliver V, Oliveras I, Kala J, Lever R, T. Y. (2017). *The effects of burning and grazing on soil carbon dynamics in managed Peruvian tropical montane grasslands. Biogeosciences. 14*, 5633–5646. <https://doi.org/https://doi.org/10.5194/bg-14-5633-2017>

Oliveras I, Anderson LO, M. Y. 2014. (2014). *Application of remote sensing to understanding fire regimes and biomass burning emissions of the tropical Andes. 28(4)*, 480–496. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2013GB004664>

- Parr, C. L., & Chown, S. L. (2003). Burning issues for conservation: A critique of faunal fire research in Southern Africa. *Austral Ecology*, 28(0), 384–395.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01296.x>
- Pastor E, Oliveras I, Urquiaga-Flores E, Quintano-Loayza JA, Manta MI, P. E. (2017). *A new method for performing smouldering combustion field experiments in peatlands and rich-organic soils*. 26, 1040–1052. <https://doi.org/https://doi.org/10.1071/WF17033>
- Pimm, S. L., Russell, G. J., Gittleman, J. L., & Brooks, T. M. (1995). The Future of Biodiversity. *Science*, 269(0), 347–350. <https://doi.org/10.1126/science.269.5222.347>
- Ramsay PM. (2014). *Giant rosette plant morphology as an indicator of recent fire history in Andean páramo grasslands*. 45, 37–44.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.03.003>
- Rica, S. N. D. Á. de C. C. (2020). *Manejo del Fuego*.
<http://www.sinac.go.cr/ES/manrecurfor/Paginas/manejfuego.aspx>
- Román-Cuesta RM, Salinas N, Asbjornsen H, Oliveras I, Huaman V, Gutiérrez Y, Puelles L, Kala J, Yabar D, Rojas M, Astete R, Jordán DY, Silma M, Mosandl R, Weber M, Stimm B, Günter S, Knoke T, M. Y. (2011). *Implications of fires on carbon budgets in Andean cloud montane forest: The importance of peat soils and tree resprouting*. 261, 1987–1997.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.02.025>
- Sánchez F, A. D. (2017). *Changes in soil organic carbon after burning in a forest-savanna edge*. 66, 19–254. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/acag.v66n4.60524>
- Sistema de Monitoreo y alerta de riesgo de incendios forestales. (2000). *Aprendamos a manejar el fuego*.