

INCIDENCIA DE INCENDIOS SOBRE LA VEGETACIÓN DE CUNDINAMARCA Y BOGOTÁ D.C. (COLOMBIA), ENTRE 2001 Y 2010

Fire Incidence on Vegetation in Cundinamarca and Bogota D.C. (Colombia) During the 2001-2010 Period

DIEGO AMAYA VILLABONA¹; DOLORS ARMENTERAS PASCUAL², Ph. D.

¹ Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

² Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Correspondencia del autor: Dolors Armenteras Pascual. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Facultad de Ciencias, Departamento de Biología. Laboratorio de Ecología y Modelación del Paisaje (ECOLMOD). Carrera 30 # 45 - 03, Edificio 421, piso 2, oficina 223. Conmutador: 51 1 316 50 00, ext. 11333. Fax 57 1 316 52 37. darmenterasp@unal.edu.co.

Presentado 3 de marzo de 2011, aceptado 2 de noviembre de 2011, correcciones 14 de febrero de 2012.

RESUMEN

En el avance del uso de teledetección como método para determinar la dinámica de incendios en el país y como complemento a trabajos desarrollados en el ámbito nacional, se analizó la distribución temporal y espacial de incendios y coberturas vegetales del departamento de Cundinamarca, la ciudad de Bogotá D. C. y las diferentes categorías de conservación y manejo, de los últimos 10 años. A partir de datos procesados por FIRMS y analizados en ArcGIS 10 y PSAW Statistics 18, se encontró que los incendios en el área de estudio se mantienen dentro del patrón nacional, destacando además que la incidencia es causada por la poca precipitación y la intervención del hombre en espacios naturales. Las poblaciones más afectadas son Caparrapí 159 incendios, Bogotá 152 incendios y Guaduas 101 incendios. Bogotá registra la mayoría de sus incendios en la parte sur, en la localidad de Sumapaz. En cuanto a áreas protegidas del departamento el Parque Nacional Natural Sumapaz encabeza la lista con 84 registros, seguido por el Distrito de Manejo Integrado Cuchilla de San Antonio con 21 registros y la Reserva Forestal Protectora Páramo Grande con nueve registros. Entre la vegetación afectada se destacan los pastos, arbustos, matorrales y sus mosaicos, resaltando alto valores de incidencia sobre la vegetación de páramo y subpáramo. Las partes centro y noroccidentales, sur y surestales del departamento son las que presentan más conflagraciones, y que en su mayoría se ubican entre los 0 a 1.000 msnm y 3.000 a 4.000 msnm.

Palabras clave: patrón espacial, temporalidad, focos activos, incendios, vegetación.

ABSTRACT

This work aims to use remote sensing as a method for determining fire dynamics in the department of Cundinamarca and the city of Bogotá D.C. in Colombia, by analyzing the temporal and spatial distribution of fires and the different types of vegetation affected in the 2011-2010 period. Based on MODIS fire hotspots, we found that the pattern fires in the study area are within the national standard, which includes increased number of events during the dry seasons (January-March and July- September). The fire incidence is caused by low rainfall that complements the root causes of ignition, which are mainly started by human intervention. The most affected populations are Caparrapí with 159 fires; Bogotá with 152 fires and Guaduas with 101 fires. Bogotá recorded most of their fires within protected areas in the south, in the area of Sumapaz. Sumapaz National Park (84), followed by the District Integrated Management Cuchilla de San Antonio (21) and Protective Forest Reserve Páramo Grande (9). Among the vegetation affected we can find grasses, shrubs, bushes and mosaics, emphasizing high values of impact on vegetation of páramo and subpáramo. The central and northwestern parts, south and southeast parts of the department, are those with more outbreaks, and most of them are between 0 to 1,000 masl and 3,000 to 4,000 masl. Finally active fires in the study area follow a pattern associated to the climate and in particular to the dry season but also show an altitudinal pattern. National and regional protected areas are effective against fires.

Key words: Spatial pattern, temporal pattern, active fire hotspots, affected vegetation.

INTRODUCCIÓN

La intervención directa del hombre en ecosistemas naturales mediante la quema de biomasa, ha llevado a una alteración de los espacios naturales traducida en la expansión de la frontera agrícola (Lauk y Erb, 2009; Pereira *et al.*, 2009). Estos eventos antrópicos crean una serie de perturbaciones que incluyen: pérdida de biomasa, extinciones locales continuas de especies nativas y desplazamiento de especies animales (Kodandapani *et al.*, 2008). En la parte atmosférica la emisión de partículas emitidas por quema de vegetación, genera una importante cantidad de aerosoles atmosféricos y gases de efecto invernadero que alteran de manera importante la radiación, lo que puede llegar a afectar las tasas fotosintéticas de ecosistemas (Di Bella *et al.*, 2006). Además las quemas modifican el albedo en la superficie, la composición química y los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos (Andreae *et al.*, 2004; Moraes *et al.*, 2004). Cada año aumenta la densidad de estas perturbaciones a nivel global, algunas se originan por causas naturales como estaciones secas prolongadas en las que los factores de ignición en su gran mayoría son causados por la mano del hombre (Narendran *et al.*, 2001).

La buena comprensión de estos fenómenos es esencial en la actualidad y esto se logra obteniendo datos precisos, partiendo de parámetros bien establecidos. Entre los métodos más usados en los últimos años se encuentra la teledetección espacial, mediante sensores satelitales (Merino de Miguel *et al.*, 2010). El uso de esta técnica, como herramienta complementaria, permite tener mayor cobertura tanto temporal como espacial,

de la biomasa consumida por el fuego, sin necesidad de costosos e intensos trabajos de campo; la información que se obtiene del análisis de los datos se puede integrar a sistemas de información geográfica (SIG) que permiten almacenamiento, procesamiento y análisis de gran cantidad de registros (Sunar y Özkan, 2001).

En Colombia, a pesar que se desconoce con exactitud la magnitud de la pérdida de vegetación por cuenta de estos fuegos, se encuentran gran cantidad de reportes anuales de distintas fuentes, privadas o públicas (Armenteras *et al.*, 2005; Armenteras *et al.*, 2009; Armenteras *et al.*, 2011; Sarmiento-Pinzón y Fonseca-Tobián, 2010), que informan sobre la ocurrencia de incendios en el país. Sin embargo, es necesario continuar avanzando en la comprensión de la dinámica de estos eventos, dado que usualmente no se cuenta con estudios que permitan conocer la distribución espacial y el impacto en la vegetación a través del tiempo en los sitios afectados. Los resultados de proyectos de investigación que incluyan estas descripciones como base de sus objetivos, permitirán desarrollar los diferentes planes de manejo y las medidas de prevención mínimas para la contención de incendios, cualquiera sea su origen.

Este trabajo se ha realizado con el objetivo de analizar la distribución temporal y espacial de incendios y los diferentes tipos de vegetación afectados en el departamento de Cundinamarca y la ciudad de Bogotá D.C. en los últimos 10 años, bajo la hipótesis que a menos precipitación hay más incendios y que existe una dependencia del tipo de vegetación, en base a la determinación de un patrón espacio temporal de incendios, mediante el uso de imágenes del satélite MODIS de la NASA. Otra de las hipótesis planteadas es que la cercanía a poblaciones influencia el número de incendios detectados dentro de las áreas protegidas.

De acuerdo a la información obtenida se realizó una descripción de las poblaciones más afectadas, las áreas protegidas con mayor recurrencia y las coberturas vegetales involucradas en los incendios. Las causas que han contribuido en el origen y desarrollo de estos eventos se han mencionado de una manera contextual.

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprendió el departamento de Cundinamarca y la ciudad de Bogotá D.C. La topografía variada del departamento, hace posible que se presente una diversidad de climas propios de la zona tropical. El piso térmico cálido con temperatura media anual superior o igual a 24 °C se extiende en Cundinamarca altitudinalmente desde los 300 hasta los 1.000 msnm, y en él se encuentran tanto en el piedemonte llanero como en el valle del río Magdalena. El piso térmico templado con temperaturas medias anuales entre 18 °C y 24 °C, altitudinalmente se extiende desde los 1.000 hasta los 2.000 msnm y abarca la parte media de los sectores oriental y occidental. El piso térmico predominante es el frío con temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, se extiende desde los 2.000 hasta los 3.000 msnm, en el se ubica el altiplano de Bogotá y las partes altas de los costados montañosos de la cordillera oriental. El páramo con temperaturas igual o menores a 12 °C, se extiende de sur a norte por el páramo de Sumapaz y por las áreas montañosas que rodean el altiplano de Bogotá, altitudinalmente se encuentra por encima de los 3.000 msnm (Gobernación de Cundinamarca, 2011).

Por su parte Bogotá, se ubica sobre la cordillera de Los Andes en una sabana con gran variedad de climas, tipos de suelos, cuerpos de agua y otras formaciones naturales. Las montañas que la rodean, permiten que se cree una barrera natural que restringe el flujo de humedad, interviniendo en el régimen de lluvias. Su temperatura varía con los meses del año, en diciembre, enero y marzo son altas, y en abril y octubre son más bajas (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2011).

La distribución anual de precipitaciones en el área de estudio involucra un régimen bimodal influido por la circulación atmosférica la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y en donde se presentan temporadas de lluvia que generalmente van de abril a julio y de octubre a diciembre.

OBTENCIÓN DE DATOS

Los datos de teledetección utilizados en este trabajo provienen de series temporales de focos activos o anomalías térmicas detectadas por el sensor MODIS (NASA, 2010) y procesadas por FIRMS (*Fire Information of Resource Management System Active Fire Data, Collection 4*; FIRMS, 2010), en el periodo comprendido entre los años 2001 - 2010. Para determinar la vegetación involucrada en los sitios donde se ubican los focos activos, se utilizó información proveniente de CORINE (*Coordination of Information in the Environmental Land Cover*) (IDEAM, 2010).

Para establecer correlaciones entre los datos de focos activos e información de variables como precipitación y temperatura, se utilizó la base de datos virtual de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR; CAR, 2011). Esta, almacena registros de estaciones meteorológicas distribuidas en diversos puntos del departamento de Cundinamarca, desde mediados del siglo XX hasta el año 2009. De la base de datos virtual de la CAR se utilizaron los archivos disponibles de: valores medios mensuales de temperatura (°C) y valores totales mensuales de precipitación acumulada (mm) de todo el departamento, y se tomaron como variables ambientales que podrían incidir en la aparición y dinámica de focos activos o incendios.

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se realizó utilizando el *software* ArcGIS 10® y su herramienta ArcMap, la cual permitió analizar de la distribución mensual y anual de los focos activos para todos los años del periodo 2001-2010, en el área de estudio. Esta información permitió conocer también distribución espacial y frecuencia de incendios en todo el territorio, identificándose, además, los sectores afectados a lo largo del tiempo y en qué lugares se producen la mayor recurrencia de los incendios.

Posteriormente, la información se cruzó con la capa de vegetación del área de estudio proporcionada por CORINE *Land Cover* (IDEAM, 2010), desarrollado para Colombia, y se determinaron los tipos de cobertura vegetal que han sido más afectados durante los últimos 10 años. Se estableció así, las distribuciones temporal y espacial, de las coberturas involucradas.

En el establecimiento del número de hectáreas afectadas, se utilizó el criterio de estimación general de Huesca *et al.*, 2009. Por lo tanto, las cifras de superficie afectada solo son un estimativo y se deben interpretar con las consideraciones pertinentes teniendo en cuenta que con las limitaciones inherentes asociadas al paso de foco activo

a superficie quemada, la transformación solo es una aproximación. Los análisis de correlación no paramétrica probados mediante el coeficiente de correlación de *Spearman*, se realizaron utilizando el programa *PSAW Statistics 18*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ANÁLISIS DE FOCOS ACTIVOS CON DATOS DE MODIS

En todo Cundinamarca se aprecia que los años con mayor número de focos son 2004 y 2007 (Fig. 1). Para el primero ambas temporadas secas muestran picos altos, de 97 focos en febrero y 123 focos activos en agosto. Para el año 2007 la temporada seca de enero a marzo se perfila como la más prolífica en cuanto a detecciones de incendios en la serie, con un pico que alcanza en febrero 135 focos activos y un acumulado en la temporada de 168, la mayor de todos los registros. Desde enero de 2001 hasta mediados de 2007 se observa un alto número de registros, con un promedio anual de 171 focos activos. A partir de abril de este último año, se nota una clara reducción en el número de fuegos detectados en temporadas secas, pero con picos sustancialmente más pequeños que en el lapso anterior, el último registro más alto se da en agosto de 2009 con 29 registros. La causa de esta reducción puede estar ligada a una mejor intervención por parte de las entidades del estado como las corporaciones autónomas regionales y Secretaria de Ambiente Distrital, quienes se han focalizado en reducir los eventos con monitoreo periódico de las zonas con mayor recurrencia y con campañas de vigilancia, educación y sensibilización principalmente en poblaciones campesinas vinculadas directa o indirectamente con los eventos.

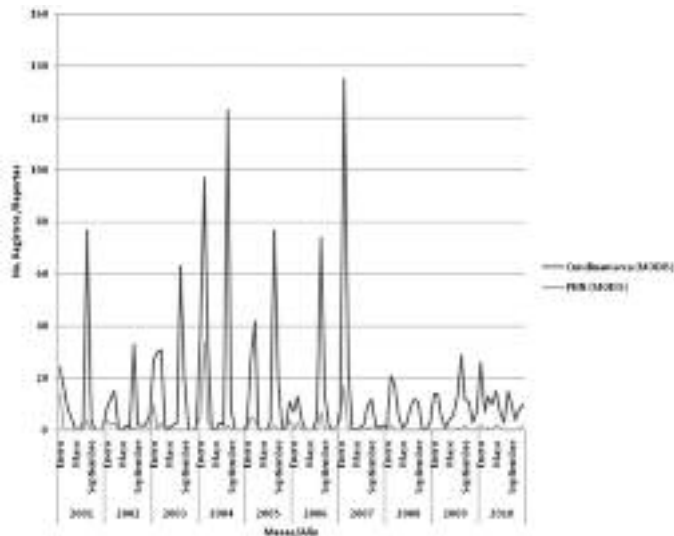


Figura 1. Serie de tiempo de registros detectados por MODIS para el departamento de Cundinamarca y sus Parques Nacionales Naturales (PNN) en el periodo 2001-2010.

Los meses con mayor número de registros, en todo el periodo evaluado, son febrero y agosto con totales de 373 y 512 respectivamente. El año con más registros es 2004 con 305 registros (30.500 hectáreas (ha)) seguido de 2007 con 197 (19.700 ha). Febrero de 2007 fue el mes que mostró el mayor número de eventos en la década registrada por MODIS, con 135 registros de focos activos.

Se puede establecer que los periodos secos observados de inicio de año, comprendidos generalmente de enero a marzo son las épocas donde más se presentan registros o reportes en cada uno de los años de las series analizadas básicamente hasta el año 2008, similar a los resultados expuestos por Romero-Ruiz *et al.*, 2009, Sarmiento-Pinzón y Fonseca-Tobián, 2010 y Armenteras *et al.*, 2011. Además los resultados indican la existencia de algunos picos en la segunda temporada seca de julio a septiembre que no se reflejan en las otras series, pero se asimilan a los datos analizados por Sarmiento-Pinzón y Fonseca-Tobián, 2010 y Armenteras *et al.*, 2011. Los años 2001, en Bogotá, 2004 y 2007 en Cundinamarca, son los años con mayor recurrencia de focos activos en la década, concordando con Sarmiento-Pinzón y Fonseca-Tobián, 2010. En términos generales, el patrón que muestran los datos de este trabajo es similar al encontrado por Armenteras *et al.*, 2009, en la mayoría del país, exceptuando el área amazónica, y por Armenteras *et al.*, 2011, en la mayoría de regiones naturales del país. Así se puede destacar, que aunque se esté analizando de manera más específica la dinámica de incendios en el país, el patrón bimodal característico del área central de la región andina, es particular, porque en él es donde se presenta la mayoría de los incendios.

Armenteras *et al.*, 2011, afirman que una de las posibles razones de la presencia de un número variable de focos activos en estas dos épocas se debe a la correlación existente entre área quemada y precipitación total acumulada, que en la región andina es muy baja en temporada seca, indicando así que el origen y persistencia de incendios está relacionada con el grado de intensidad de la temporada. Esta afirmación se complementa con lo dicho por van der Werf *et al.*, 2008, quienes consideran que el continuo cambio climático provoca periodos secos extremos cada vez más marcados, que incrementan la frecuencia y la intensidad de incendios. Según lo reportado por Nepstad *et al.*, 2006, Aragao *et al.*, 2008 y van der Werf *et al.*, 2008, de los años los años 2002 a 2003, el año 2004 y de 2006 a 2007 se registraron eventos El Niño bastante marcados que permitieron crear condiciones para el origen de focos activos en las épocas secas para estos años, que coinciden con los años de mayor recurrencia en este trabajo. No hay que dejar de lado las precipitaciones en las épocas húmedas previas, porque como producto de lluvias intensas, en la temporada seca siguiente se puede presentar aumento en la cantidad de biomasa combustible que va a permitir la expansión de focos (Román-Cuesta *et al.*, 2003; van der Werf *et al.*, 2004; Bowman *et al.*, 2009).

Los municipios con mayor registro de focos activos son Caparrapí (159), Bogotá (152), Guaduas (101), Paratebueno (80), Gutiérrez (63; Fig. 2). El número de hectáreas afectadas en el departamento de Cundinamarca en la década, es de 155.200. Para los tres municipios mencionados anteriormente el número de hectáreas afectadas corresponde a: 15.900 ha en Caparrapí, 15.200 ha en Bogotá y 10.100 ha en Guaduas.

En cuanto a áreas protegidas, la que mostró el mayor número de focos activos fue el Parque Nacional Natural (PNN) Sumapaz con 84 registros. Le siguen el Distrito de Manejo Integrado (DMI) Cuchilla de San Antonio con 21 registros y la Reserva Forestal

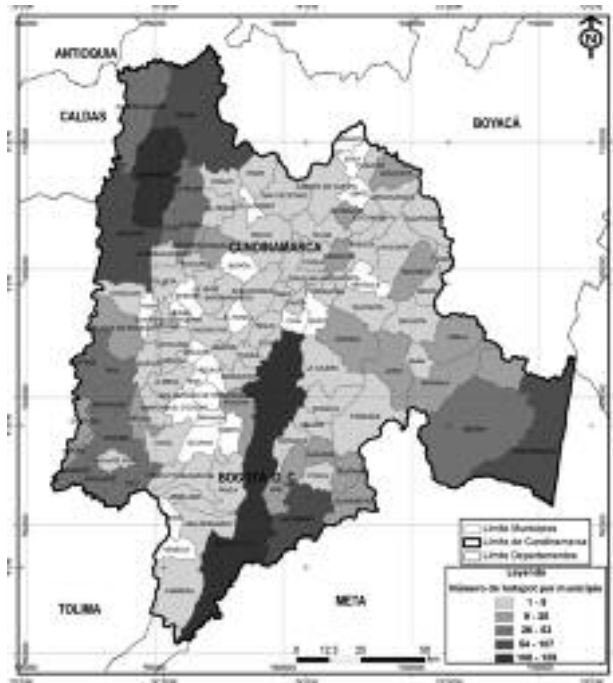


Figura 2. Clasificación de municipios por número total de registros de focos activos en el periodo 2001-2010. Laboratorio de Ecología y Modelación del Paisaje (ECOLMOD).

Protectora (RFP) Paramo Grande con 9 nueve registros (Fig. 3). Si se relacionan las áreas protegidas con las poblaciones circundantes se puede ver que poblaciones de relativa incidencia como Bogotá, San Bernardo y Caparrapí, pueden influenciarlas. Para el caso especial de Bogotá, la ciudad entre los años 2001 y 2010 ha registrado un total de 150 focos activos (15.000 ha). Los datos presentan una dinámica donde se puede apreciar que el año 2004 fue el más activo con 59 registros (5.900 ha), seguido de 2003 con 23 (2.300 ha), 2001 y 2007 con 17 (1.700 ha; Fig. 4). Desde 2007, año relevante en los demás análisis, la tendencia se reduce (2008, un registro; 2009, dos registros), pero en 2010 se vuelve a incrementar a 6 focos activos.

Al observar el mapa con la distribución de focos activos para Bogotá, es evidente que la mayoría están ubicados al sur del área urbana, más exactamente en la localidad especial de Sumapaz que es la misma área donde se encuentra el PNN y cuyos focos activos corresponden a 63% de los registros, los demás están ubicados en las demás áreas protegidas del distrito (Fig. 4).

Según los resultados de este trabajo los municipios y áreas protegidas con mayor afectación, se encuentran en los sectores: centro y noroccidentales, sur y surorientales del departamento, concordando así con los datos de CONIF, 1998 (Fig. 5). Donde los sectores con vulnerabilidad muy alta se encuentran en la parte occidental, extremo noroccidental (bosques secos) y parte suroriental (vegetación de páramo) donde hay vegetación altamente inflamable. Y sectores con vulnerabilidad media en áreas aleñañas a los núcleos



Figura 3. Áreas protegidas del departamento de Cundinamarca y el Distrito Capital afectadas en el periodo 2001-2010. Laboratorio de Ecología y Modelación del Paisaje (ECOLMOD).



Figura 4. Focos activos registrados en el Distrito Capital en el periodo 2001-2010 por MODIS. Laboratorio de Ecología y Modelación del Paisaje (ECOLMOD).



Figura 5. Distribución de focos activos en el departamento de Cundinamarca en el periodo 2001-2010. Laboratorio de Ecología y Modelación del Paisaje (ECOLMOD).

forestales de la planicie cundiboyacense en el centro del departamento de Cundinamarca, que presentan suelos que toleran regímenes secos. De acuerdo con CONIF, 1998, se puede inferir que desde finales del siglo XX hasta finales de la primera década del presente siglo, la situación se ha mantenido y las dinámicas de presencia de incendios dentro del departamento siguen siendo las mismas. El bajo número de registros de MODIS en las áreas protegidas por PNN sigue el patrón explicado por Armenteras *et al.*, 2009, y es también debido a que áreas protegidas como RFP o RFPP actúan como barreras contra incendios, y se distribuyen en una menor extensión que permite un manejo más apropiado, dirigido a la conservación y explotación forestal sostenible.

En todo el departamento de Cundinamarca el mayor número de eventos se presenta en el rango de altitud de 0 a 1000 msnm, con cerca de 900 registros a lo largo de la década, le sigue el rango entre 3000 y 4000 msnm, con cerca de 250 registros. La mayoría de rangos sobrepasa los 100 registros y se presentan focos activos hasta una altura de 4000 msnm (Fig. 6A). Es de resaltar el comportamiento del rango de 3.000 a 4.000 msnm, en el se encuentran las coberturas de páramo y subpáramo ecosistemas que son protegidos por la ley colombiana pero que como muestra la figura 6 están presentando un número importante de incendios en el periodo estudiado. A pesar de los controles, la expansión de la frontera agrícola junto con el alto impacto de las variables climáticas sobre todo en la época seca ha permitido que cultivos como la papa estén entrando en estas áreas, alterándolas y por ende perdiéndolas como fuentes hídricas (Rodríguez Eraso *et al.*, 2012).

ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE INCENDIOS SOBRE LA COBERTURA VEGETAL

En términos generales las coberturas vegetales que más se han afectado en la década

están compuestas por: pastos (oriente, centro y noroccidente), arbustos y matorrales (centro y occidente), vegetación seca (occidente) y secundaria que hacen parte del paisaje que normalmente rodean los cultivos, formando los denominados mosaicos o misceláneas, los bosques densos y plantados (centro y oriente) también muestran registros o reportes de incendios importantes (Fig. 6B), resultados que son similares a los encontrados por Armenteras *et al.*, 2011, a nivel nacional.

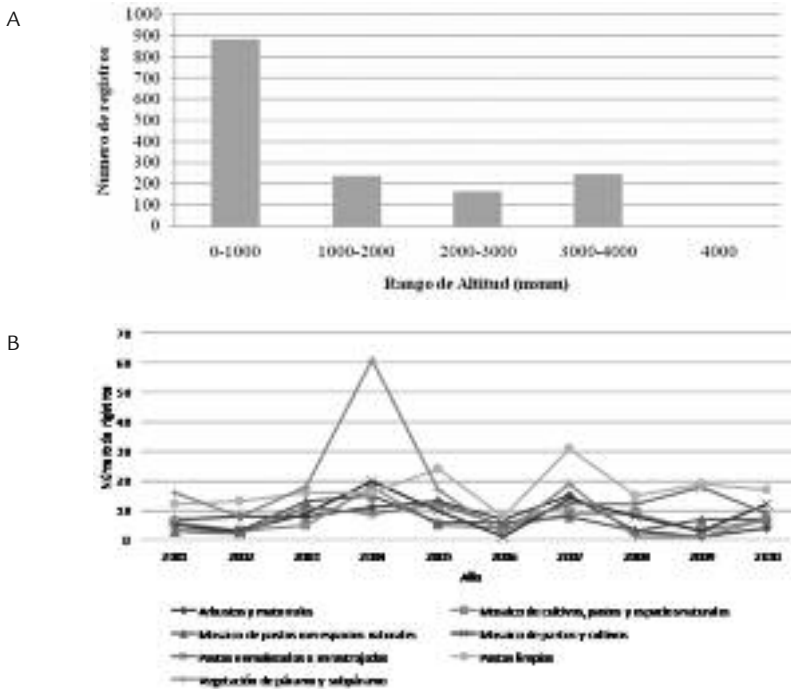


Figura 6. A. Número de focos activos por rangos de altitud registrados por MODIS entre 2001 y 2010. B. Relación entre el número de registros de MODIS con las categorías de cobertura vegetal de CORINE con más de 70 registros, entre 2001 y 2010.

CORRELACIONES ENTRE VARIABLES METEOROLÓGICAS E INCIDENCIA DE INCENDIOS

La correlación entre los datos de focos activos de MODIS y la precipitación registrada por la CAR entre 2001 y 2009 para el área de estudio, presenta correlaciones significativamente negativas para Bogotá (-0,783, p -0,003) y Pasca (-0,723, p -0,008). Asociando, bajos niveles de precipitación con la presencia de focos activos o incendios. Municipios como Caparrapí, Paratebueno y Gutiérrez, por ejemplo, que presentan la mayor recurrencia de focos activos, no presentaron datos de precipitación en la base de datos de la CAR, en cambio municipios vecinos a ellos como Guaduas o San Bernardo sí, por lo que con ellos se realizaron análisis que no arrojaron correlación alguna.

La temperatura, fue otra variable ambiental que también se analizó, pero no mostró correlación alguna, indicando que en esta región no es una causa directa, destacando

aun más la idea de que, un ambiente seco, más no caliente, es más propenso en determinadas épocas del año, a originar incendios.

ORIGEN DE INCENDIOS

Entendiendo que el efecto de las variables climáticas aquí estudiadas y su correspondiente temporalidad son factores clave en la dinámica de incendios forestales en Cundinamarca y Bogotá D.C., ahora hay que determinar un origen real de estos eventos. Según CONIF, 1998, las causas naturales son las que menor peso tienen al momento de analizar factores de ignición e históricamente se sabe que en Colombia, por tradición, el fuego no propiamente es utilizado para favorecer la dinámica natural de los bosques, por el contrario se usa para reducir su ecosistema, beneficiando la entrada del hombre y agricultura a áreas que nunca habían sido intervenidas.

Los resultados de los análisis permiten deducir la siguiente relación: poca precipitación + quemas = incendios de importante magnitud, acertando con lo propuesto por Aragao *et al.*, 2008. En Colombia el informe de mapas de riesgo de incendios en plantaciones forestales desarrollado por CONIF, 1998, señala que el origen de los incendios se puede clasificar en cuatro grupos: naturales, sociales, técnicos y desconocidos. La menor incidencia de reportes está dada por factores técnicos o naturales. Por el contrario se observa que la mayor ocurrencia está asociada a asuntos de orden público, conflictos sociales y tradiciones, por lo que se estima que 95% son de origen antrópico. De acuerdo con el mapa de cultura de la quema (CONIF, 1998), en el departamento de Cundinamarca se presentan los siguientes tipos de quemas:

- De control en áreas tradicionales de ganadería y agricultura establecidas en gran parte de la mitad oriental del departamento.
- Semicontroladas en valles y laderas interandinos en gran parte de la porción occidental.
- Quemas de subsistencia esporádica en áreas con baja densidad de población en el extremo noroccidental.
- No deseadas, derivadas de quemas incontroladas en páramos y bosques de laderas escarpadas alto andinos de la parte sur del departamento, principalmente en el área del Sumapaz.

Estas amenazas aún son mayores cuando se tiene en cuenta que la densidad poblacional de este departamento es muy alta y acudiendo a las dos últimas causas previamente expuestas, se puede entender porqué en Colombia existe una importante afinidad por prácticas agrícolas como las quemas, usadas regularmente en sectores agropecuarios y asociadas a actividades de preparación del terreno y control de malezas, como en las zonas cañeras de Cundinamarca y en los páramos donde se usa para la renovación de rebrotes con fines de pastoreo de ganado vacuno, lo que genera altos factores de riesgo de incendios forestales especialmente de bosques nativos o plantados (CNAPMIF, 2002). Esto indica que la presencia humana es uno de los principales factores de riesgo, independiente de la vulnerabilidad climática y tal como lo indica Etter *et al.*, 2006, la expansión humana y sus demandas por bienes y servicios son características que están muy vinculadas ocasionando que aumente la presión sobre sistemas ecológicos.

Según los datos de la Secretaría de Planeación de Cundinamarca, 2010, cultivos como caña, café, maíz, fríjol, habichuela, mora y papa, son los más numerosos. La caña, por

ejemplo, se ubica en el rango de menor altitud (0-999 msnm) que se observó en la figura 6, donde se presenta el mayor número de registros. Los demás se dan en áreas de mayor altitud, donde cultivos como la papa predominan, explicando algunas de las razones por las cuales en el rango entre 3.000 a 4.000 msnm, donde están los páramos, se ve un gran número de registros. De esta manera se observa cómo los incendios están presentando un arreglo geoespacial.

CONCLUSIONES

Los incendios en el área de estudio se mantienen dentro del patrón temporal que caracteriza la dinámica general en Colombia. Las épocas donde se presentan estos eventos son las temporadas secas que generalmente van de finales de diciembre a inicios de abril y de julio a inicios de octubre. Los fuegos dentro del departamento de Cundinamarca presentan arreglos geoespaciales específicos. Las partes centro y noroccidentales, sur y surorientales son las que presentan más conflagraciones, y que en su mayoría se ubican entre los 0 a 1.000 msnm y los 3.000 y 4.000 msnm, respectivamente. Las áreas de PNN, de protección y conservación regionales, mantienen niveles bajos de incendios, dada su connotación de áreas protegidas o productoras. En Bogotá, la mayor cantidad de los registros, se ubican al sur del distrito donde se encuentra, además, el PNN Sumapaz, el área protegida más afectada en este trabajo. La temperatura no es un factor determinante en el origen o desarrollo de incendios en el área de estudio, la precipitación, en cambio, juega un papel importante en la dinámica de incendios, contribuyendo al probable origen antrópico de los fuegos, con condiciones favorables de combustión. La vegetación que se ha visto mayormente afectada corresponde a la circundante a áreas de cultivo como arbustos, pastizales, vegetación seca, vegetación de transición o secundaria. La vegetación de páramo y subpáramo presenta el pico más alto de afectación de todas las coberturas vegetales valoradas, convirtiéndose en la categoría más representativa. Comprendiendo la influencia de las variables ambientales y la distribución espacio temporal, se puede entender que el origen de los incendios está más directamente relacionado con la intervención del hombre en áreas naturales, donde la quema para aumentar la frontera agropecuaria motiva su inicio, sobre todo en áreas de baja altitud como la parte centro y suroccidental, y la parte sur que rodea al Sumapaz y que protege ecosistemas de páramo y subpáramo. Los resultados de este trabajo contribuyen al conocimiento de la dinámica de incendios en el país y dentro de una escala local permitirá a las entidades de control tener un panorama general, del cual podrán desarrollar métodos de control y prevención que aporten en el establecimiento y continuidad del plan nacional de prevención, control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM y a la Secretaría Distrital de Ambiente SDA por brindarnos las bases de datos que nos permitieron complementar este trabajo. A los centros de documentación del IDEAM, Parques Nacionales Naturales de Colombia y Gobernación de Cundinamarca, de los

cuales obtuvimos información de soporte para discutir nuestros resultados. De manera especial a Carol Franco, su orientación y disposición, permitieron que el desarrollo de este trabajo fuera inmensamente enriquecedor.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. [Citado en julio de 2011]. Disponible en URL: <http://www.bogota.gov.co/portel/libreria/php/01.270701.html>

ANDRAE MO, ROSENFELD D, ARTAXO P, COSTA A, FRANK G, LONGO KM, *et al.* Smoking rain clouds over the Amazon. *Science*. 2004;303:1342-1345.

ARAGAO LEOC, MALHI Y, BARBIER N, LIMA A, SHIMABUKURO Y, ANDERSON L, *et al.* Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2008;363:1779-1785.

ARMENTERAS D, ROMERO M, GALINDO G. Vegetation fire in the savannas of the Llanos Orientales of Colombia. *World Resource Rev*. 2005;17(4):531-543.

ARMENTERAS D, GONZALEZ-ALONSO F, FRANCO-AGUILERA C. Distribución geográfica y temporal de incendios en Colombia utilizando datos de anomalías térmicas. *Caldasia*. 2009;31(2):303-318.

ARMENTERAS-PASCUAL D, RETANA-ALUMBREROS J, MOLOWNY-HORAS R, ROMAN-CUESTA RM, GONZALEZ-ALONSO F, *et al.* Characterising fire spatial pattern interactions with climate and vegetation in Colombia. *Agr Forest Meteorol*. 2011;151:279-289.

BOWMAN DMJS, BALCH JK, ARTAXO P, BOND WJ, CARLSON JM, COCHRANE MA, *et al.* Fire in the earth system. *Science*. 2009;324:481-484.

CAR. Corporación Autónoma Regional. [Citada en Marzo de 2011]. Disponible en URL: <http://www.car.gov.co/?idcategoria=12645>

CNAPMIF. Comisión Nacional Asesora para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales. Plan Nacional de Prevención, control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá D.C.; 2002.

CONIF. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal. Mapas de riesgo de incendios en plantaciones forestales de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente, CONIF, Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Bogotá D.C.; 1998.

DI BELLA CM, JOBBAGY EG, PARUELO JM, PINNOCK S. Fire density controls in South America. *Global Ecol Biogeogr*. 2006;15:192-199.

ETTER A, MCALPINE C, WILSON C, PHINN S, POSSINGHAM H. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. *Agric Ecosyst Environ*. 2006;114:369-386.

IDEAM. 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. Bogotá, D. C.; 2010.

GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA. [Citada en Julio de 2011]. Disponible en URL: <http://www1.cundinamarca.gov.co/gobernacion/Departamento/Datosgenerales/Posici%C3%B3nGeografica/tabid/119/language/es-ES/Default.aspx>.

HUESCA M, GONZALEZ-ALONSO F, CUEVAS-GONZALO JM. Distribución espacial y temporal de los incendios forestales en España utilizando datos de anomalías térmicas. Ponencia sometida al congreso Asociación Española de Teledetección; 2009.

KODANDAPANI N, COCHRANE MA, SUKUMAR R. A comparative analysis of spatial, temporal, and ecological characteristics of forest fires in seasonally dry tropical ecosystems in the Western Ghats, India. For Ecol Manage. 2008;256:607-617.

LAUK C, ERB KH. Biomass consumed in anthropogenic vegetation fires: Global patterns and processes. Ecol Econ. 2009;69(2):328-334 doi: 10.1016/j.ecolecon.2009.06.025

MERINO DE MIGUEL S, HUESCA M, GONZALEZ ALONSO F. Modis reflectance and active fire data for burn mapping and assessment at regional level. Ecol Modell. 2010;221:67-74.

MORAES EC, FRANCHITO SH, BRAHMANANDA RAO V. Effects of biomass burning in Amazonia on climate: a numerical experiment with a statistical-dynamical model. J Geophys Res. 2004;109:1-12.

NARENDRAN K, MURTHY IK, SURESH HS, DATTARAJA HS, RAVINDRANATH NH, SUKUMAR R. Nontimber forest product extraction, utilization and valuation: a case study from the Nilgiri Biosphere Reserve, southern India. Econ Bot. 2001;55:528-538.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. [Citada en Noviembre de 2010]. Disponible en URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov>.

NEPSTAD D, SCHWARTZMAN S, BAMBERGER B, SANTILLI M, RAY D, SCHLESINGER P, LEFEBVRE P, *et al.* Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. Conserv Biol. 2006;20:65-73.

PEREIRA G, FREITAS SR, MORAES EC, FERREIRA NJ, SHIMABUKURO YE, RAO VB, *et al.* Estimating trace gas and aerosol emissions over South America: Relationship between fire radiative energy released and aerosol optical depth observations. Atmos Environ. 2009;43(40):6388-6397.

RODRÍGUEZ ERASO N, ARMENTERAS-PASCUAL D, RETANA ALUMBREROS J. Land use and land cover change in the Colombian Andes: dynamics and future scenarios. J Land Use Sci, 2012. Doi:10.1080/1747423X.2011.650228.

ROMÁN-CUESTA RM, GRACIA M, RETANA J. Environmental and human factors influencing fire trends in ENSO and Non-ENSO years in tropical Mexico. Ecol Appl. 2003;13:1177-1192.

ROMERO-RUIZ M, ETTER A, SARMIENTO A, TANSEY K. Spatial and temporal variability of fires in relation to ecosystems, land tenure and rainfall in savannas of northern South America. Glob Chang Biol. 2009;16:2013-2023.

SARMIENTO-PINZÓN CE, FONSECA-TOBIÁN CP. Incidencia de incendios forestales en biomas naturales y transformados en Colombia durante el periodo 1997-2009. En: Salazar-Holguín F, Benavides-Molineros J, Trespalacios-González OL, Pinzón LF, editores. Informe sobre el Estado de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Componente de Biodiversidad Continental - 2009. Bogotá, D.C., Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; 2010. P. 88-100.

SECRETARIA DE PLANEACIÓN DE CUNDINAMARCA. Estadísticas de Cundinamarca 2010. Bogotá D.C: Gobernación de Cundinamarca; 2010.

SUNAR F, ÖZKAN C. Forest fire analysis with remote sensing data. Int J Remote Sens. 2001;22(12):2265-2277.

VAN DER WERF GR, RANDERSON JT, COLLATZ GJ, GIGLIO L, KASIBHATLA PS, ARELLANO JR AF, *et al.* Continental-scale partitioning of fire emissions during the 1997 to 2001 El Niño/La Niña period. *Science*. 2004;303:73-76.

VAN DER WERF GR, RANDERSON JT, GIGLIO L, GOBRON N, DOLMAN AJ. Climate controls on the variability of fires in the tropics and subtropics. *Global Biogeochem Cy*. 2008;22:GB3028.

