

OCAMPO-ZULETA, Korina

MODELO DESCRIPTIVO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN
ZONAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES E INVASIÓN DE
RETAMO ESPINOSO EN LOS CERROS ORIENTALES DE BOGOTÁ

Acta Biológica Colombiana, vol. 24, núm. 1, 2019, Enero-Abril, pp. 1-12

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología

DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v24n1.71953>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319059543001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



ARTÍCULO DE REFLEXIÓN/ REFLECTION ARTICLE

ECOLOGÍA

MODELO DESCRIPTIVO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN ZONAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES E INVASIÓN DE RETAMO ESPINOSO EN LOS CERROS ORIENTALES DE BOGOTÁ

Descriptive Model of Ecological Restoration in Areas Affected by Forest Fires and Invasion of Gorse in Cerros Orientales, Bogotá

Korina OCAMPO-ZULETA^{1*}

¹ Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Subdirección Científica, Línea de Investigación en Restauración Ecológica, Av. Calle 63 n°. 68-95, Bogotá D.C, Colombia.

*For correspondence: korinaocampozuleta@gmail.com

Received: 30th April 2018, Returned for revision: 12th June 2018, Accepted: 27th November 2018.

Associate Editor: Susana Feldman.

Citation/Citar este artículo como: Ocampo-Zuleta K. Modelo descriptivo de restauración ecológica en zonas afectadas por incendios forestales e invasión de retamo espinoso en los Cerros Orientales de Bogotá. Acta biol. Colomb. 2019;24(1):1-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n1.71953>

RESUMEN

Se presenta la trazabilidad del proceso de recuperación de los Bosques Altoandinos de los Cerros Orientales afectados por incendios forestales y retamo espinoso, por medio de modelos conceptuales. Para ello, se revisó información sobre variables meteorológicas, vegetales, sociales e institucionales, que permitieran caracterizar los disturbios y su influencia sobre este ecosistema. En el primer modelo, se describe la afectación total de los Bosques Altoandinos bajo un escenario de incendio forestal y retamo espinoso, donde el componente de vegetación es el principal combustible para la generación y propagación del fuego; las consecuencias del evento van desde la alteración en la generación de servicios ecosistémicos, hasta los cambios en la sucesión ecológica. En el segundo modelo es el de transición, donde se presentan las acciones que deben incluirse para el restablecimiento del ecosistema. Entre ellas se tienen los procesos de restauración ecológica, como el manejo integral del suelo, la recomposición de coberturas vegetales, el manejo y control de especies exóticas y los acercamientos entre las instituciones ambientales y la comunidad. El tercer modelo, hace referencia a un escenario ideal de un ecosistema restaurado, donde todos los componentes han sido restablecidos, hay una sucesión ecológica apropiada y se genera una apropiación de los Cerros Orientales como generadores de bienes y servicios. Finalmente, se proponen una serie de conclusiones que permitirán la generación de modelos para eventuales procesos de restauración, además de pautas para el manejo de especies exóticas y el abordaje de temas interinstitucionales.

Palabras clave: Bosque Altoandino, estrategias de restauración, coberturas vegetales, control de especies invasoras.

ABSTRACT

The traceability of the recovery process of The High Andean Forests of the Cerros Orientales affected by forest fires and gorse, through conceptual models is presented. Do this information on meteorological, vegetation, social and institutional variables were reviewed, which has allowed to characterize the disturbances and their influence on this ecosystem. In the first model, the total affection of High Andean Forests was described under a scenario of forest fire and gorse, where the vegetation component is the main fuel for the generation and propagation of fire; the consequences of the event come from the alteration in the generation of ecosystem services to the changes in the ecological succession. The second model corresponds to the transition model, where the actions that must be included for the restoration of the ecosystem are presented. Among them, there are the ecological restoration processes; such as the integrated management of the soil, the recomposition of vegetation coverage, the management and control of exotic species and the approaches between environmental institutions and the community. The third model refers to an optimum scenario for a restored ecosystem, where all the components have been restored, there is an appropriate ecological succession and an appropriation of the Cerros Orientales is produced to work as both goods and services generators. Finally, a series of conclusions that will allow coming up with the generation of models for eventual restoration processes are proposed, as well as the guidelines for the management of exotic species and the inter-institutional issues approach.

Keywords: Control of invasive species, High Andean Forest, restoration strategies, vegetation coverage



INTRODUCCIÓN

El fuego ha sido un agente de cambios en los paisajes del mundo, en el mantenimiento y evolución de los ecosistemas (Castillo *et al.*, 2003; Myers, 2006). Su rol ecológico como regulador de procesos ha sido fundamental en la historia evolutiva. La ocurrencia de los incendios forestales depende de variables climáticas (ej: altas temperaturas), la ignición y la inflamabilidad, especialmente en períodos de sequía (Villers, 2006; Armenteras *et al.*, 2009).

En la actualidad, distintos procesos atribuidos al cambio climático, los cambios en el uso del suelo, tala indiscriminada, fragmentación del paisaje y especies invasoras inflamables, han generado diversas alteraciones en el régimen de fuego, que dan cabida a incendios de mayor extensión, duración, intensidad y severidad (Myers, 2006; Rodríguez-Trejo, 2012).

En Colombia, los incendios forestales afectan más de 42000 ha por año (MAVDT, 2007). En el Distrito Capital durante el período de 1999 y 2017 se afectaron 3376,65 ha (CDPMIF, 2017). En los últimos diez años, el año con mayor incidencia fue el 2016 donde se quemaron alrededor de 377,87 ha (CDPMIF, 2017), teniendo en cuenta que en el Distrito se consideran incendios forestales áreas mayores a 0,5 ha (SDA, 2010a). El incendio mencionado fue desencadenado por acciones antrópicas y cambios en la precipitación y temperatura, en términos de anomalías de precipitación (García *et al.*, 2012).

Gran parte de los ecosistemas característicos del Distrito Capital se encuentran localizados sobre la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá, comúnmente llamada “Cerros Orientales” (Fig. 1). Estos cerros son considerados el corredor ecológico más importante de la región con 14116 ha, donde nacen más de 130 fuentes hídricas, y en donde el 64 % del área total de la reserva es ocupada por especies nativas (Vásquez, 2005; CAR, 2007; SDA, 2010a).

Asociados a los Bosques Altoandinos de los Cerros Orientales, se encuentran bosques primarios y secundarios ubicados entre los 2300 a 3200 m.s.n.m., con alrededor de 49 ha, el área de matorrales y rastrojos tienen una cobertura de 698 ha y el área de vegetación arbustiva de páramo localizada por encima de los 3200 m de altura cuentan con alrededor de 1623 ha (SDA, 2010a).

Los Cerros Orientales han estado expuestos históricamente a su ocupación e intervención, principalmente por procesos agrícolas, ganaderos, producción de carbón vegetal, explotación de materiales de cantera, así como también por procesos de urbanización, interviniendo en mayor proporción los Bosques Altoandinos (Carrillo, 2011; Amaya y Armenteras, 2012).

En 1932 se iniciaron los procesos de recuperación de las coberturas en los Cerros, que se llevaron a cabo con especies inapropiadas como *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp., y *Cupressus* sp., especies que hoy se consideran nocivas para los ecosistemas

de Bosque Altoandino (Meza, 2008), que representa el 4,5 % de los ecosistemas en el Distrito Capital (SDA, 2010a).

Sumado a esto, en 1945 se introdujo otra especie inapropiada, el retamo espinoso (*Ulex europaeus*), una especie exótica invasora en la cual el fuego es un mecanismo de dispersión y propagación (Vargas *et al.*, 2009; León y Vargas, 2011; Torres y Vargas, 2011). Esta especie fue usada con fines de cerca viva en lotes de muchos campesinos que la consideraron útil y vistosa, logrando la colonización progresiva en los Cerros (Ríos, 2005).

Instituciones como el Jardín Botánico de Bogotá, desarrollan investigaciones alrededor de la restauración ecológica en zonas de los Cerros Orientales. De esta manera, se encargan de la recomposición de los valores y servicios ecosistémicos, que permiten orientar la dinámica de los ecosistemas hacia la sucesión ecológica (SER, 2004; Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015). En este sentido, las estrategias e intervenciones que se usan para la restauración varían dependiendo del ecosistema, la extensión y el tipo de disturbio, como por ejemplo el fuego y las especies invasoras.

La importancia de la generación de modelos de restauración ecológica para ecosistemas con disturbios, como los incendios forestales y las especies invasoras, radica en crear herramientas para la prevención, control y mitigación de estos eventos. Los modelos permiten contribuir a la protección y/o restablecimiento de los ecosistemas afectados para su conservación, uso sustentable y obtención continua de los beneficios derivados de la utilización de los ecosistemas (Amaya y Armenteras, 2012). La restauración

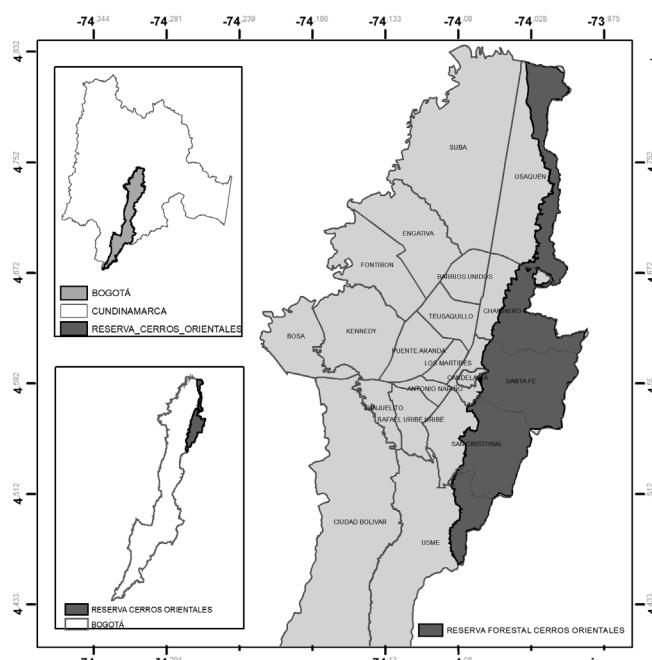


Figura 1. Localización de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental De Bogotá ‘Cerros Orientales de Bogotá’ en Colombia.

ecológica es clave para la recuperación de los ecosistemas, pues busca mediante estrategias como la reintroducción de especies nativas en arreglos florísticos y el control de especies invasoras, mejorar la salud, integridad y sustentabilidad de los ecosistemas afectados por los incendios forestales (Fernández *et al.*, 2010).

El objetivo de este trabajo es proponer un modelo descriptivo conceptual de restauración ecológica para Bosques Altoandinos en los Cerros Orientales del Distrito Capital, teniendo en cuenta factores sociales, naturales y económicos, a fin de prevenir el riesgo de incendios forestales y controlar la invasión de especies invasoras como *Ulex europaeus*, mediante el uso de la dinámica de sistemas que permite representar los pasos a seguir en la recuperación de estos ecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión de literatura sobre temas como la caracterización de disturbios y la afectación de la estructura, composición y función de los ecosistemas por el fuego, que permitiera obtener datos relevantes sobre la frecuencia de afectación, el área perturbada y los efectos en la interrelación del fuego con otros disturbios (Barrera-Cataño *et al.*, 2010).

Para la realizar el modelo conceptual de restauración ecológica en escenarios de incendios forestales e invasión de especies exóticas invasoras en Bosques Altoandinos de los Cerros Orientales del Distrito Capital (Fig. 1), se tuvo en cuenta la teoría de sistemas. En la representación gráfica se usó el lenguaje energético de Odum, para mostrar tanto los componentes del ecosistema como las variables dependientes e independientes (Odum y Warret, 2006) (Fig. 2). Se identificaron las variables que explicaran la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en cuanto al peligro de ignición y propagación, para establecer las entradas y salidas del sistema.

Variables independientes

Estas variables son aquellas que varían a lo largo de los Cerros Orientales. Entre ellas se encuentran las meteorológicas

y atmosféricas que pueden generar reacciones como la inflamabilidad, la combustibilidad y sostenibilidad en los combustibles.

Meteorológicas. Estas variables están relacionadas con factores como la frecuencia y ocurrencia de los incendios forestales (Pabón *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2006; Chuvieco *et al.*, 2007; De Torres *et al.*, 2008). Variables como la humedad relativa y la temperatura influyen en la inflamabilidad de las coberturas vegetales como combustible (Chuvieco *et al.*, 1998; Navar-Cháidez, 2011). Mientras que la precipitación, la radiación solar y la velocidad del viento, interfieren en la combustibilidad (Aguado *et al.*, 1998; Cocero *et al.*, 1998; IDEAM, 2012).

Topográficas. Son componentes de esta variable de paisaje, la pendiente, la exposición, la altitud y la fisiografía (Carrillo-García *et al.*, 2012; Ibarra-Montoya *et al.*, 2016).

Atmosféricas. En estas variables podemos encontrar las causas y consecuencias de la generación del fuego. La concentración de oxígeno (O_2) puede iniciar la combustión, y las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) son el producto de esta (Di Bella *et al.*, 2006; Bodi *et al.*, 2012).

Variables dependientes

La construcción del modelo sugirió variables que fueran ligeramente controlables como la vegetación, y accesibles como la comunidad y las instituciones gubernamentales. Estas representan cambios en los escenarios posibles para establecer las acciones dentro de la gestión interinstitucional con la mitigación y gestión del riesgo y la integración comunitaria.

Vegetación. Las coberturas vegetales son el principal combustible en la generación y propagación de incendios forestales, por la pérdida de humedad y su poder calorífico, en especial por la necromasa del retamo espinoso y las plantaciones forestales (Guijarro *et al.*, 2002; Parra-Lara y Bernal-Toro, 2011; Páramo-Rocha, 2011). El combustible del Bosque Altoandino está conformado por comunidades vegetales con características fisiológicas y fisonómicas que pueden influir en la inflamabilidad (Rangel-Ch, 2000; CAR,

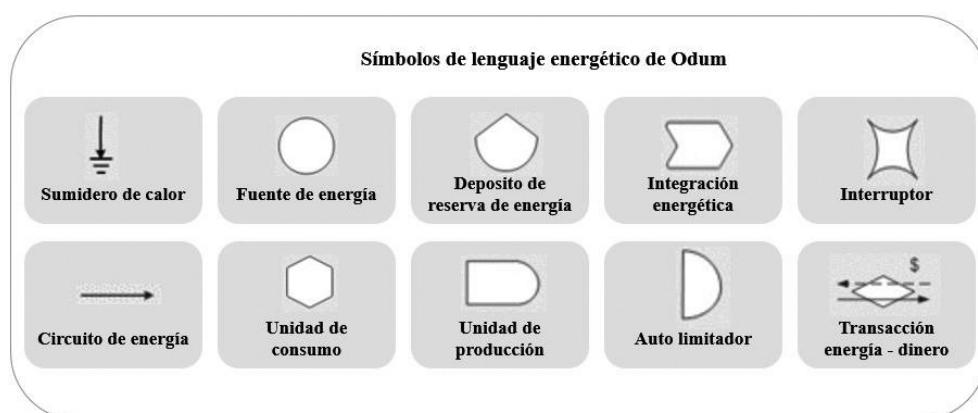


Figura 2. Símbolos de lenguaje energético de Odum. Fuente: modificado de Odum y Warret (2006).

2007; White y Zipperer, 2010). Asimismo, la potencialidad del combustible para generar fuegos depende de la humedad, la composición química y la estructura física de las plantas (White y Zipperer, 2010).

Social. La comunidad aledaña a los Cerros Orientales es considerada la variable social más importante, por ser el actor más influyente en la generación de eventos de fuego. Las causalidades de los incendios pueden ser: intencionales, por la ampliación de la frontera agropecuaria; por negligencia, en casos de quemas de basuras; por descuido como fogatas, fumadores, pólvora; y accidentales, como caídas de redes eléctricas (MAVDT, 2002; Alvear, 2004; Barreal *et al.*, 2012).

Institucional. El conjunto de actores más representativo en temas de incendios forestales es la Comisión Distrital de Mitigación y Prevención de Incendios Forestales, existente por directiva Distrital desde 2005 y conformada por la Unidad Administrativa Especial de Bomberos de Bogotá, el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, la Secretaría Distrital de Ambiente y el Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, entre otros. Esta delegación desarrolla actividades conjuntas que permiten la puesta en marcha de planes de acción para la mitigación de los incendios, mientras que instituciones como el Jardín Botánico vela por conservación y recuperación de los ecosistemas afectados por incendios.

RESULTADOS

Modelo de afectación de Bosque Altoandino por incendios forestales y retamo espinoso

Este primer modelo muestra la carencia de cooperación institucional y social (Fig.3). Para el modelo de afectación de los Cerros Orientales, se explica cómo los habitantes y/o comunidad del Distrito que tiene acceso a los cerros, puede desencadenar incendios forestales. En este escenario un período largo de sequía o de fenómeno de El Niño, la radiación solar alta y, con las condiciones características de los cerros, los vientos pueden ser fuertes, proporcionando condiciones precisas para la generación de incendios antrópicos y su rápida propagación.

El componente de vegetación juega un papel primordial para la generación y propagación del fuego. La cobertura del Bosque Altoandino y las especies exóticas (plantaciones y retamo), son el principal combustible para el fuego en los Cerros, dado que aportan gran cantidad de material maderable (troncos, raíces, compuestos fenólicos y resinas) y no maderable (corteza, ramas, hojas, hojarasca y necromasa).

Aun así, el complejo que más influye en la producción de combustible e inflamabilidad es el retamo espinoso (*Ulex europaeus*). Esta especie de alta regeneración natural posee un mecanismo de crecimiento que permite que las ramas

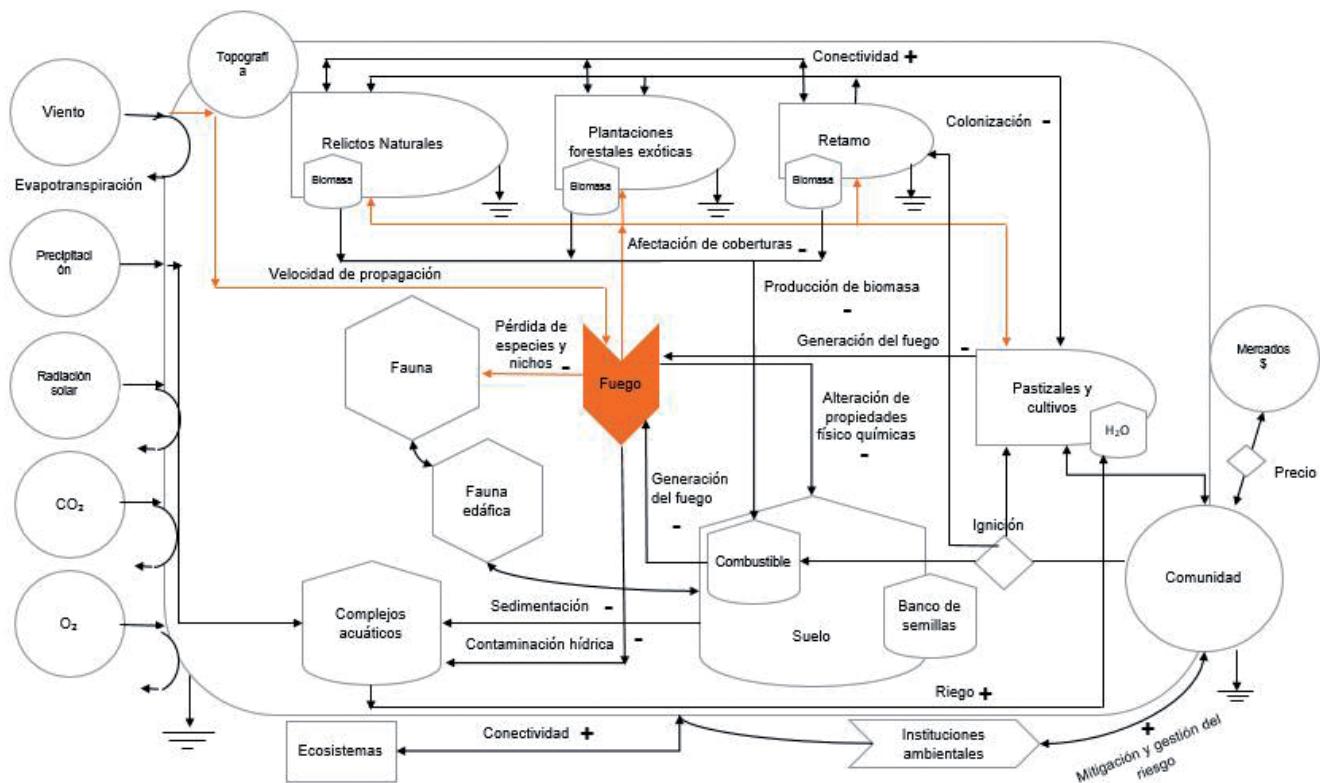


Figura 3. Modelo en escenarios de incendio forestal e invasión de especies exóticas en los Cerros Orientales de Bogotá D.C.

inferiores sean un reservorio de necromasa. Esto sumado al poder calorífico de la biomasa de la especie, la velocidad de propagación y los aceites contenidos en sus semillas y ramas, que logran un perfecto conjunto para la ignición.

Entre las consecuencias de un evento en la zona están las alteraciones en la generación de bienes y servicios ecosistémicos por la pérdida de especies vegetales, ocasionada por afectación en los tejidos vegetales, la composición fisiológica, el deterioro en las propiedades de la madera, el incremento en las plagas y enfermedades, los cambios en la sucesión vegetal. En cuanto a la fauna, se pierden hábitats y hay migración de especies; así como también la ruptura de cadenas alimentarias. La contaminación hídrica por cenizas, alteración de las propiedades fisicoquímicas del suelo y afectaciones, en términos económicos y de salud.

Modelo transicional de restauración ecológica en Bosque Altoandino

El segundo modelo aborda la transición entre la afectación del ecosistema por fuego y el inicio de las labores de restauración ecológica, es importante establecer los componentes que deben incluirse y cuales deben restablecerse en el sistema (fig.4).

La implementación de los procesos de restauración inicia con el diagnóstico de la situación del ecosistema degradado, la definición del ecosistema de referencia y el

plan de restauración a seguir para el caso de dos disturbios como el fuego y la invasión de especies. La evaluación y el seguimiento de los procesos deben contar con estrategias como el manejo integral del suelo, la recuperación de la fauna y coberturas vegetales, donde sea controlada y eliminada la vegetación pirófila, como el retamo espinoso.

Asimismo, un manejo sobre la necromasa en el suelo proveniente de las plantaciones forestales puede realizarse mediante acciones silviculturales que logren la disminución de la cantidad de combustible disponible en el ecosistema.

Para el modelo, la implementación de acciones de restauración ecológica mediante introducción de especies nativas permitirá su desarrollo y adaptación que servirán de conectividad entre coberturas, logrando el control del área cubierta con especies exóticas. Asimismo, los procesos de propagación de especies mediante la evaluación del banco de semillas permitirán la regeneración secundaria de los bosques, y el manejo de la fauna logrará continuar con las labores propias de propagación de las semillas.

Es necesario tener en cuenta que el control de las especies exóticas se debe realizar con mantenimientos continuos, al menos tres veces al año, lo que permitirá el agotamiento del banco de semillas no deseadas, en especial de retamo espinoso. Lo anterior con un plan de eliminación de los residuos generados con este control.

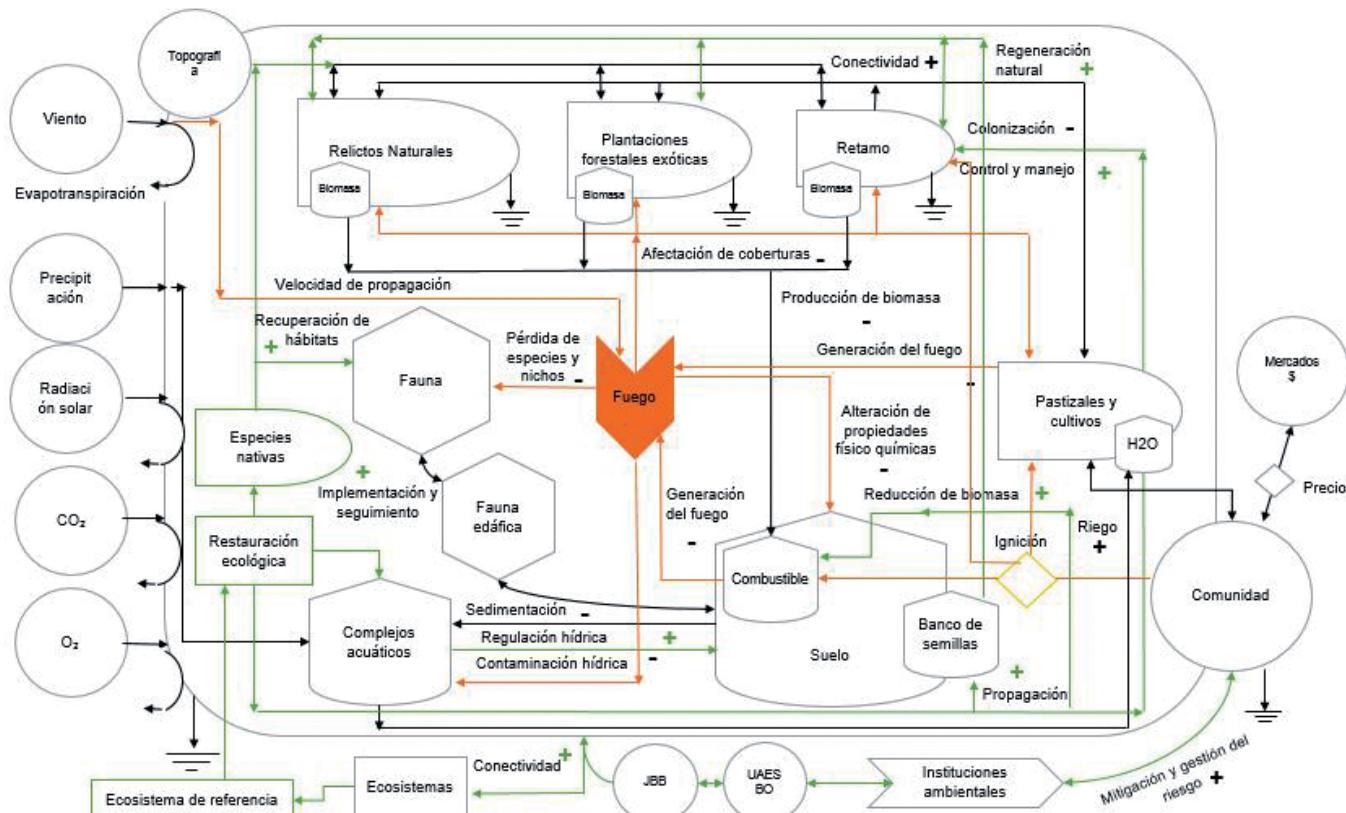


Figura 4. Modelo implementación de restauración ecológica en escenarios de incendios forestales e invasión de especies exóticas en los Cerros Orientales de Bogotá D.C.

Posteriormente, se deben iniciar acciones paralelas como el trabajo social, donde haya interrelación entre las instituciones de orden ambiental y la comunidad en pro de los ecosistemas de Bosque Altoandino, que se encaminen a evitar los incendios forestales, y lograr el reconocimiento de los cerros como generadores de servicios ecosistémicos.

Modelo de restauración ecológica en Bosque Altoandino

El tercer modelo presenta el escenario ideal de restauración ecológica en Bosque Altoandino, consiste en el restablecimiento de los atributos de la cobertura vegetal, en términos de estructura y composición. Luego de la implementación de estrategias para la recuperación del suelo y la incorporación de vegetación nativa, que permitan la disponibilidad de nutrientes en el suelo con las proporciones adecuadas para las etapas de sucesión ecológica. Para más detalles sobre este modelo conceptual revisar la figura 5.

Las especies nativas reintroducidas proporcionan conectividad con otras coberturas, llevando a cabo procesos de competencia interespecífica con el retamo y las plantaciones forestales, a fin de controlar su crecimiento y distribución. Esto permite generar espacios para la fauna, como hábitats que permitan continuar con los procesos de dispersión, propagación y regeneración natural del banco de semillas deseadas, a partir de la riqueza de especies reintroducidas.

Por otra parte, los elementos hídricos sirven de red para las diversas coberturas vegetales creando conectividad entre paisajes.

La restauración ecológica fortalece los lazos entre las instituciones y la comunidad, siendo un puente de asociación donde se inician procesos de reconocimiento de la flora y fauna nativa encaminadas a procesos de apropiación de estos entornos.

DISCUSIÓN

Modelo de afectación de Bosque Altoandino por incendios forestales y retamo espinoso

En este modelo en particular hay mayor influencia de las variables atmosféricas por los efectos de la combustión, como la emisión de gases (CO_2), (Castillo *et al.*, 2003; Hernández-García *et al.*, 2016) y el oxígeno (Bodi *et al.*, 2012). Los incendios pueden determinarse por ciertas características de las variables meteorológicas como períodos largos de sequía, altas temperaturas del aire y baja humedad, sumado a una alta radiación y fuertes vientos en el área de los Cerros Orientales (Miller y Urban, 2000; Parra-Lara y Bernal-Toro, 2010; Molina-Terrén y Cardill, 2015). No obstante, con el conocimiento sobre estas variables se podrían identificar las épocas donde haya mayor probabilidad de incendios para tomar medidas preventivas (Ramos *et al.*, 2017;

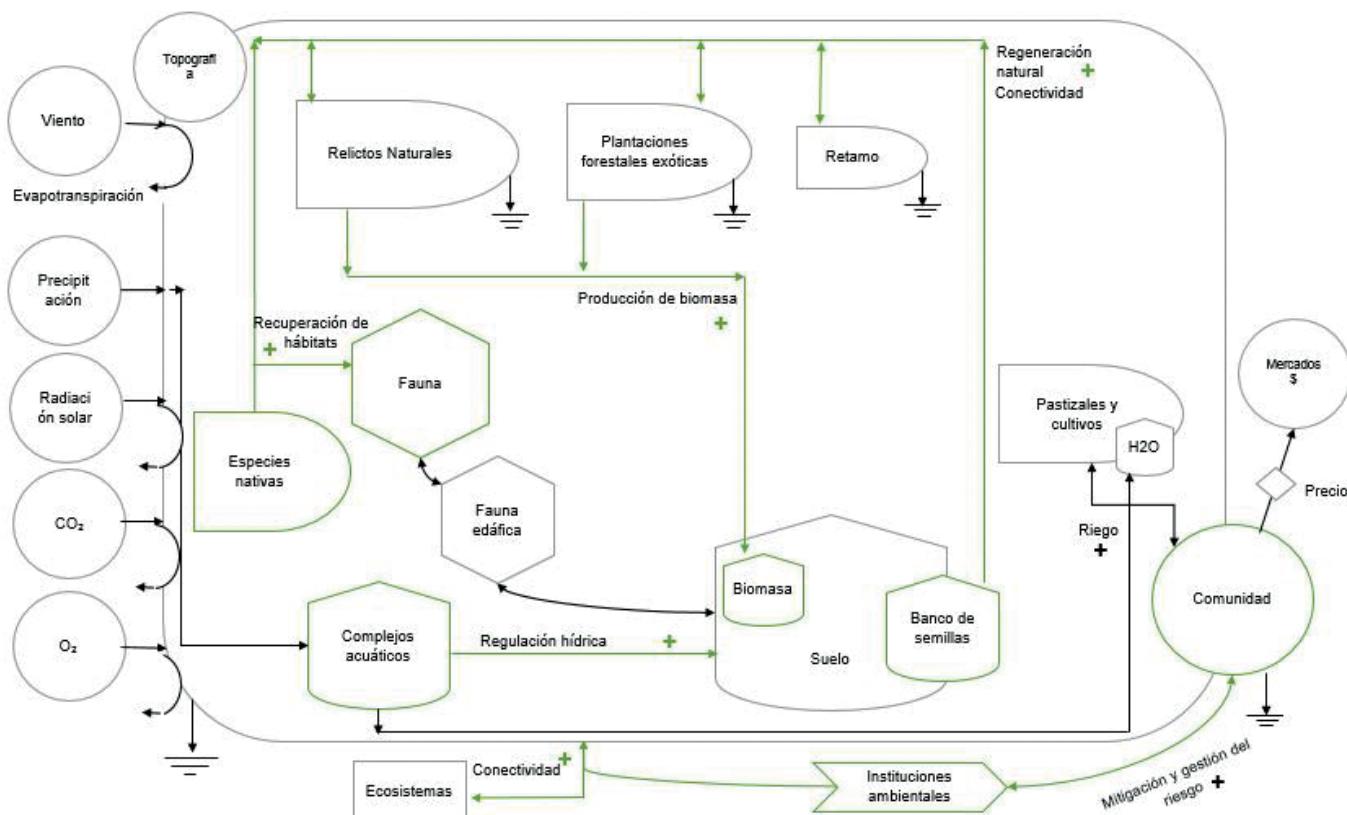


Figura 5. Modelo de restauración ecológica en Bosque Altoandino para los Cerros Orientales de Bogotá D.C.

Ocampo-Zuleta y Beltrán-Vargas, 2018). Por último, dentro de las variables independientes, la topografía influye en la propagación del fuego, puesto que en pendientes altas el fuego se propaga más rápido hacia arriba, esto sumado a los fuertes vientos (Jiménez *et al.*, 2016).

En la variable de vegetación, el retamo espinoso es el factor de mayor influencia, pues posee un banco de semillas germinable y perdurable en el suelo, que después de un disturbio de fuego, a pocas semanas se expresa siendo una especie exitosa por sus características pirogénicas (Rodríguez- Añón *et al.*, 1995; Núñez- Regueira *et al.*, 2004; Anderson y Anderson, 2010). Es causante de la pérdida de diversidad florística (Ríos, 2005; Verzino *et al.*, 2005; Aguilar, 2010; Barrera-Cataño *et al.*, 2010; Pérez-Cabello *et al.*, 2011; Ocampo-Zuleta y Solorza-Bejarano, 2017) y la composición de especies de la fauna asociada por la modificación de su hábitat (Smith, 2000; Bodi *et al.*, 2012).

Este modelo deja en evidencia la forma en que los diferentes componentes podrían alterarse en un escenario de incendio forestal, es así como la mayoría de los incidentes son generados por acciones antrópicas y se presentan en mayor proporción en la interfaz urbano-forestal (Etter *et al.*, 2006; Amaya y Armenteras, 2012; Armenteras y Vargas, 2016), como limpieza de pastizales, cultivos y áreas con retamo espinoso.

Entre las consecuencias del fuego en sobre componentes del sistema se tiene, los complejos acuáticos, afectados por contaminación del agua con cenizas y sedimentación (Pujol-Geli, 1995; Tecle y Neary, 2015; Nunes *et al.*, 2018). La alteración de las propiedades físicas y químicas del suelo (Neary *et al.*, 1999; Bodi *et al.*, 2012; Giorgis *et al.*, 2013), lo que genera modificaciones en la temporalidad sobre la fertilidad, pérdida de materia orgánica y afecta la disponibilidad de nutrientes para la regeneración natural postfuego (Pyke *et al.*, 2010; Bodi *et al.*, 2012). Los efectos en la comunidad pueden notarse como problemas de salud derivados del humo y la pérdida de cultivos (Doerr y Santín, 2016; Moreira y Pe'er, 2018).

Modelo transicional de restauración ecológica en Bosque Altoandino

Este modelo transicional permite tomar acciones frente a la afectación de Bosque Altoandino por incendios forestales y retamo espinoso. Por ello se debe asistir al ecosistema afectado por medio de labores de restauración ecológica, que permitan con el trabajo inicial crear oportunidades para esfuerzos posteriores (Moore, 2005).

Para la puesta en marcha de acciones de restauración en este modelo, se debe iniciar con el diagnóstico de la situación del ecosistema afectado, la definición del ecosistema de referencia y el plan de restauración, donde se denotará el objetivo y las estrategias para restablecer la dinámica del ecosistema (Pérez-Cabello *et al.*, 2011). Una de las primeras estrategias es el control de especies invasoras, para ello se

realiza la remoción física del retamo espinoso, para lo cual se debe seguir un protocolo de bioseguridad que evite la dispersión de las semillas de la planta. Posterior, se realiza la eliminación de los residuos vegetales, para lo cual existen varias técnicas como la incineración y la bioextrusión, que generan material pulverizado usado para la producción de compost (Ocampo-Zuleta, 2015; Ocampo-Zuleta, 2018a). Un control sucesivo sobre el área invadida logra agotar el banco de semillas de la especie (León y Vargas, 2011; Ocampo-Zuleta, 2015; Montaño *et al.*, 2017), requiriendo para ello proyectos de inversión pues los costos son altos, debido a la mano de obra y la disposición final de los residuos.

Se han realizado diferentes estudios sobre el retamo espinoso para conocer su uso, entre los cuales se tiene como potencial energético (Hurtado, 2010; Aldana-Páez, 2015), para agromonto como biorremediación (Mora, 2017) y en soluciones sintéticas tipo pellets (Hernández y Triviño, 2016). No obstante, la normativa actual como la Resolución 0684 de 2018, y el seguimiento de las autoridades ambientales no permite la comercialización de los residuos, desestimulando su uso para evitar su producción masiva.

Como segunda estrategia, se requiere la recuperación del suelo desprotegido por la modificación de los ciclos de nutrientes, es así como se incluyen enmiendas para la recuperación del suelo (Larsen *et al.*, 2009), que permitan la disponibilidad de nutrientes en el suelo con las proporciones adecuadas para las etapas de sucesión ecológica y las siguientes acciones como la incorporación de especies.

Esta introducción de especies nativas proporciona conectividad con otras coberturas, llevando a cabo procesos de competencia interespecífica con el retamo y las plantaciones forestales, a fin de controlar su crecimiento y distribución. Esto permite generar espacios para la fauna, como hábitats que permitan continuar con los procesos de dispersión, propagación de especies, así como también propiciar la sucesión natural y la generación de bancos de semillas, tanto de especies reintroducidas como de aquellas que hayan logrado sobrevivir al fuego (Jordano *et al.*, 2002; Pérez-Cabello *et al.*, 2011; Torres *et al.*, 2015).

En el proceso, se podría evidenciar la capacidad de las comunidades vegetales de recuperarse después de un incendio forestal, que depende de la respuesta individual de las especies, por lo que en la regeneración natural de los ecosistemas no siempre abundan las especies nativas (Bodi *et al.*, 2012). Sin embargo, las especies que tengan rasgos regenerativos, en ambientes con temperaturas elevadas, como las especies rebrotadoras y germinadoras obligadas, podrán competir por mantenerse en los ecosistemas degradados (Vega-Hidalgo, 2003; Alloza y Vallejo, 2004).

Ahora bien, a pesar de contar con procesos de restablecimiento de la cobertura vegetal, es importante tener en cuenta que existe el riesgo de ocurrencia de nuevos eventos de fuego en épocas de sequía, en zonas

sin tratamientos silvícolas (poda y aclareos), zonas que tienen asentamientos humanos y cultivos con importancia agrícola (Moore, 2005; Moraga-Peralta, 2010). Por ello, es importante la apropiación de los procesos con la comunidad, no solo colindantes a las zonas de restauración sino del Distrito en general. Es importante indagar el uso de fuego prescrito que evite el cambio de condiciones de los ecosistemas.

Modelo de restauración ecológica en Bosque Altoandino

El modelo final de restauración ecológica en Bosque Altoandino presenta los componentes del sistema normalizados, es decir, se cuenta con un área de ecotón entre vegetación cerrada de la media montaña y la abierta de la parte alta con especies nativas (Rangel-Ch, 2000).

Entidades como el Jardín Botánico de Bogotá han desarrollado estrategias de restauración en zonas de Bosque Altoandino (Ocampo-Zuleta, 2015; Rojas, 2017; Ocampo-Zuleta, 2018a), realizando el seguimiento a los procesos de restauración ecológica mediante manejo adaptativo, que les permite asegurar que el ecosistema está en camino a la trayectoria deseada (Haney y Power, 1996; Birgé *et al.*, 2016).

Se podría concebir un sistema de restauración ecológica sostenible en ausencia total del fuego, siempre y cuando se tomen ciertas medidas, como, por ejemplo, el uso de herramientas científico-tecnológicas para su gestión, con la obtención de productos relacionados con la evaluación del índice de peligro de incendio y simulación del comportamiento del fuego.

La caracterización de los modelos de combustible para la vegetación, el régimen de fuego para los Cerros Orientales (Sarris y Koutsias, 2014) y el uso de sensores remotos para caracterizar la firma espectral del retamo espinoso (Castro y Peñaloza, 2015), podrían ayudar a determinar el comportamiento de la vegetación y en la generación alertas tempranas.

CONCLUSIONES

El modelo de afectación de Bosque Altoandino por incendios forestales y retamo espinoso muestra como es la afectación general del ecosistema. Los componentes usados en el sistema vinculan variables meteorológicas, atmosféricas y topográficas, que pueden ayudar en la elaboración de planes de contingencia, aún más cuando se logren establecer valores cuantitativos para cada una de las variables, pues son determinantes en la susceptibilidad de los ecosistemas específicamente el fenómeno de El Niño y períodos de sequía.

En el modelo transicional de restauración ecológica en Bosque Altoandino se presentan las acciones que deberían realizarse para la mitigación del ecosistema alterado. Donde la implementación de la restauración ecológica logra minimizar los daños ocasionados al ecosistema por causa del fuego y las especies invasoras.

Asimismo, las gestiones para la sustitución de coberturas vegetales deben enfocarse en implementar técnicas para el control de necromasa en las plantaciones, mediante el mejoramiento de las medidas determinadas por las Entidades Distritales en torno a los incendios forestales y la selección de especies nativas adecuadas.

La normativa para el manejo y control de retamo espinoso es una herramienta inicial. No obstante, se deben generar protocolos para la disposición de los residuos generados, ya que desborda la capacidad técnica y económica de los proyectos que se encargan de la supresión de esta especie invasora.

La inclusión de la comunidad en la gestión y mitigación del riesgo de incendios generará el empoderamiento del territorio en las zonas susceptibles a los fenómenos de fuego, garantizando la sostenibilidad de las estrategias de prevención y control.

El modelo conceptual de restauración ecológica en Bosque Altoandino de los Cerros Orientales de Bogotá presenta un entorno libre de fuego, donde las acciones continuas de manejo adaptativo lograrán una trazabilidad de las funciones del ecosistema. Lo anterior teniendo en cuenta que la restauración ecológica es un proceso de largo plazo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Subdirección Científica del Jardín Botánico de Bogotá (Proyecto 864). Agradezco a Claudia Alexandra Pinzón, Jairo Solorza-Bejarano y Germán Barrera-Velásquez por la revisión y comentarios en el documento.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

REFERENCIAS

- Aguado I, Camia A. Fundamentos y utilización de índices meteorológicos de peligro de incendio. Serie Geográfica. 1998;7:49-58.
- Aguilar, M. Restauración Ecológica de áreas afectadas por *Ulex europaeus* L. Madrid, España: Convenio 005/09 SDA-IDIPRON. 2010. p. 75.
- Aguilar-Garavito M, Ramírez W. Monitoreo a procesos de Restauración Ecológica aplicado a ecosistemas terrestres. Bogotá D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2015. p. 254.
- Aldana-Páez, M. Experimental analysis of the energy potential of the species *Ulex europaeus* and its blending with waste tire rubber by pyrolysis. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes. 2015. p. 69.
- Alloza J, Vallejo V. Integración de la restauración forestal de zonas quemadas en la planificación forestal: un ejemplo de I+D en restauración forestal. Cuadernos de la SECF, 2004;17:13-20.

- Alvear G. Gestión en la Protección contra los Incendios Forestales en América del Sur. Memorias del Segundo Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección Contra Incendios Forestales: Una Visión Global. Córdoba, España. 2004. p.717-727.
- Amaya D, Armenteras D. Incidencia de incendios forestales sobre la vegetación de Cundinamarca y Bogotá D.C. (Colombia) entre 2001 y 2010. Acta. Biolo. Colomb., 2012;17(1):143-158.
- Anderson S, Anderson W. Ignition and fire spread thresholds in gorse (*Ulex europaeus*). Int J Wildland Fire, 2010;19:589-598.
- Armenteras D, González-Alonso F, Franco C. Distribución geográfica y temporal de los incendios en Colombia utilizando datos de anomalías térmicas. Caldasia, 2009;31(2):303-318.
- Armenteras D, Vargas O. Patrones del paisaje y escenarios de restauración: acercando escalas. Acta. biol. Colomb., 2016;(211);Supl:S229-239. DOI: .15446/abc.v21n1sup.50 848
- Barreal J, Loureiro M, Picos J. Estudio de la causalidad de los incendios forestales en Galicia. EARN, 2012;12(1):99-114. DOI: 10.7201/earn.2012.01.04.
- Barrera-Cataño J, Contreras-Rodríguez S, Garzón-Yepes N, Moreno-Cárdenas A, Montoya-Villarreal S. Manual para la Restauración Ecológica de los Ecosistemas Disturbados del Distrito Capital. Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Universidad Javeriana (PUJ). 2010. p. 403.
- Birgé H, Allen C, Garmestani S, Pope K. Adaptive management for ecosystem services. J Environ Manage, 2016;183(2):343-352. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.07.054
- Bodi M, Cerdá A, Mataix-Solera J, Doeer S. Efectos de los incendios forestales en la vegetación y el suelo en la cuenca mediterránea: revisión bibliográfica. BAGE, 2012;(58):33-55.
- CAR. Ajuste del Plan de Manejo Ambiental de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá. Bogotá D.C.: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 2007. p. 374.
- Carrillo M. La dinámica del crecimiento del bosque urbano sobre los Cerros Orientales de Bogotá. Posibilidades de gestión de ciudad en zonas de ladera. Bogotá, Colombia: Universidad Colegio Mayor Nuestra Señora del Rosario. 2011. p. 120.
- Carrillo-García R, Rodríguez-Trejo D, Tchikoué H, Monterroso-Rivas A, Santillán-Pérez J. Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México. Interciencia, 2012;37(9):678-683.
- Castillo M, Pedernera P, Peña E. Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. Revista Ambiente y Desarrollo, 2003;9(3):44-53.
- Castro D, Peñaloza F. Metodología para la identificación de especies vegetales invasoras *Ulex europaeus* (retamo espinoso) y *Genista monspessulana* (retamo liso) en zonas piloto de Bogotá D.C. usando imágenes multiespectrales de alta resolución. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2015. p. 137.
- CDPMIF. Informe de gestión de incendios forestales 2017. Bogotá D.C.: Comisión Distrital para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales - Alcaldía Mayor de Bogotá. 2017. p. 43.
- Chuvieco E, Martín M, Martínez J, Salas J. Geografía e Incendios Forestales. Serie Geográfica, 1998;7:11-17.
- Chuvieco E, Aguado I, Yebra M, Nieto H, Martín P, Martínez J, Padrón D, Martín S, Salas J. Generación de un Modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y SIG. En: Martín P, editor. Teledetección - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. Madrid: Editorial Martín; 2007. p. 19-26.
- Cocero D, Riaño D, Chuvieco E. Estimación de la humedad de la vegetación usando imágenes de satélite e índices meteorológicos de peligro de incendios. Serie Geográfica, 1998;7:59-72.
- De Torres M, Ghermandi L, Pfister G. Los incendios en el noroeste de la Patagonia: su relación con las condiciones meteorológicas y la presión antrópica a lo largo de 20 años. Ecol. Austral, 2008;(18):153-167.
- Di Bella C, Jobbág E, Paruelo J, Pinnock S. Continental fire density patterns in South America. Glob. Ecol. Biogeogr., 2006;15:192-199.
- Doerr S, Santín C. Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. Philos. Trans. Royal Soc. B, 2016;371:1-10. DOI: 10.1098/rstb.2015.0345
- Ericksson O, Ehrlén J. Seed and microsite limitation of recruitment in plant populations. Oecologia, 1992;91:360-364. DOI: 10.1007/BF00317624
- Etter A, McAlpine C, Wilson K, Phinn S, Possingham H. Regional patterns of agricultural land use and deforestation in Colombia. Agric. Ecosyst. Environ., 2006;114(2-4):369-386. DOI: 10.1016/j.agee.2005.11.013
- Fernández I, Morales N, Olivares L, Salvatierra J, Gómez M, Montenegro G. Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales (Vol. 1). Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. 2010. p. 149.
- Jiménez A, Urrego L, Toro L. Evaluación del comportamiento de incendios de la vegetación en el norte de Antioquia (Colombia): análisis del paisaje. Colombia Forestal, 2016;19(2):161-180.
- Jordano P, Zamora R, Marañón T, Arroyo J. Claves ecológicas para la restauración del bosque mediterráneo. Aspectos demográficos, ecofisiológicos y genéticos. Ecosistemas, 2002;11(1):83-92.
- García M, Piñeros A, Bernal F, Ardila E. Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. Rev. ing., 2012;(36):60-64.
- Giorgis M, Cingolani A, Cabido M. El efecto del fuego y las características topográficas sobre la vegetación y las propiedades del suelo en la zona de transición entre bosques y pastizales de las sierras de Córdoba, Argentina. Bol. Soc. Argent. Bot., 2013;48(3-4): 493-513.

- Gujarro M, Hernando C, Díez C, Martínez E, Madrigal J, Lampin C, Fonturbel M. Flammability of some fuel beds common in the South-European ecosystems. Forest fire research and wildland fire safety: Proceedings of IV International Conference on Forest Fire Research 2002 Wildland Fire Safety Summit. Luso, Coimbra, Portugal: Viegas, D. X. 2002. p. 18-23.
- Haney A, Power R. Adaptive management for sound ecosystem management. Environmental Management, 1996;20(6):879-886.
- Hernández C, Triviño L. Evaluación de la capacidad de bioadsorción de Pb (II) y Cd (II) presentes en soluciones sintéticas independientes empleando retamo espinoso (*Ulex europaeus*) como adsorbente. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2016. p. 179.
- Hernández-García J, Rodríguez G, Enríquez J, Campos G, Hernández A. Biomasa arbustiva, herbácea y en el piso forestal como factor de riesgo de incendios. Rev. mex. cienc. forestales, 2016;7(36):51-63.
- Hurtado G. Estudio sobre las técnicas de conversión, como mecanismo de eliminación de residuos vegetales provenientes de la intervención de la cobertura vegetal en el marco del proceso de mitigación de incendios forestales y restauración ecológica. Informe final. Contrato 0737-2009. Convenio Interadministrativo de cooperación 0042-2008. Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. 2010. p. 120.
- Ibarra-Montoya J, Huerta-Martínez F. Modelado espacial de incendios: una herramienta predictiva para el Bosque La Primavera, Jalisco México. Rev. ambiente agua, 2016;11(1):35-49. DOI: 10.4136/ambi-agua.1536
- IDEAM. Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para la región de Bogotá, Cundinamarca. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2012. p. 124.
- Larsen I, MacDonald L, Brown E, Rough D, Welsh M, Pietraszek J, Libohova Z, Schaffrath K. Causes of post-fire runoff and erosion: the roles of soil water repellency, surface cover, and soil sealing. Soil. Sci.Soc.Amer.J., 2009;73(4):1393-1407. DOI: 10.2136/sssaj2007.0432
- León O, Vargas O. Estrategias para el control, manejo y restauración de áreas invadidas por retamo espinoso (*Ulex europaeus*) en la Vereda El Hato, Localidad de Usme, Bogotá D.C. En: Vargas O, Reyes S, editores. La Restauración Ecológica en práctica: Memorias I Congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de experiencias en Restauración Ecológica. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. 2011. p. 474-490.
- MAVDT. Plan Nacional de Prevención, control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Comisión Nacional Asesora para la Prevención y Mitigación de Incendios Forestales. 2002. p. 64.
- MAVDT. Protocolo de restauración de coberturas vegetales afectadas por incendios forestales. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2007. p. 64.
- Meza C. Urbanización, conservación y ruralidad en los Cerros Orientales de Bogotá. Rev. Colomb. Antropol., 2008;44(2):439-480.
- Miller C, Urban D. Connectivity of forest fuels and surface fire regimes. Landsc. Ecol., 2000;15(2):145-154. DOI: 10.1023/A:100818131
- Molina-Terrén D, Cardill A. Temperature determining larger wildland fires in NE Spain. Theor. Appl. Climatol., 2015;125(1-2):295-302. DOI: 10.1007/s00704-015-1511-1
- Moore P. Forest Landscape Restoration after Fires. In: Mansourian S, Vallauri D, Dudley N, editors (in cooperation with WWF International) 2005. Forest Restoration in Landscapes: Beyond Planting Trees, Springer, New York. 2005. p.331-338.
- Montaño A, Arteaga J, Alonso-Malaver C, Barrera-Cataño J. Uso de un modelo no lineal en el análisis del agotamiento de un banco de semillas del *Ulex Europaeus*. XXVII Simposio Internacional de Estadística. 5th International Workshop on Applied Statistics. Medellín, Antioquia, Colombia. 2017. p. 1-8.
- Mora S. 2017. Potencial del retamo espinoso (*Ulex europaeus* L.) como materia prima para la elaboración de agromontos, según su resistencia a la tracción. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle. 2017. p. 69.
- Moraga-Peralta J. Evaluación del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del Río Tempisque, Costa Rica. Rev. geogr. Am. Cent., 2010;45:33-64.
- Morales L, Canessa F, Mattar C, Orrego R, Matus F. Caracterización y Zonificación edáfica y climática de la región de Coquimbo, Chile. R.C. Suelo Nutr. Veg., 2006;6(3):52-74.
- Moreira F, Pe'er Guy. Agricultural policy can reduce wildfires. Science, 2018;359:1001. DOI: 10.1126/science.aat1359
- Müller S, Overbeck G, Pfadenhauer J, Pillar V. Plant functional types of woody species related to fire disturbance in forest–grassland ecotones. Plant Ecol., 2007;(189): 1-14.
- Myers R. Convivir con el fuego. Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego. Tallahassee, FL: TNC. 2006. p. 30.
- Návar-Cháidez J. Modelación del contenido de agua de los suelos y su relación con los incendios forestales en la Sierra Madre Occidental de Durango, México. Madera y Bosques, 2011;17(3):65-81.
- Neary D, Klopatek C, DeBano L, Ffolliot P. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. For. Ecol. Manage., 1999;122:51-71.

- Nunes J, Doerr S, Sheridan G, Neris J, Santín C, Emelko M, Silins U, Robichaud P, Elliot W, Keizer J. Assessing water contamination risk from vegetation fires: Challenges, opportunities and a framework for progress. *Hydrol. Process.*, 2018;32(5):687-694. DOI: 10.1002/hyp.11434
- Núñez-Regueira L, Proupín-Castiñeiras J, Rodríguez-Añón J. Energy evaluation of forest residues originated from shrub species in Galicia. *Bioresour. Technol.*, 2004;91:215-221.
- Ocampo-Zuleta, K. Restauración ecológica en áreas afectadas por especies exóticas invasoras. REDCRE, 2015;9(1):17-22.
- Ocampo-Zuleta K, Solorza-Bejarano J. Banco de semillas de retamo espinoso *Ulex europaeus* L. en bordes del matorral invasor en un ecosistema zonal de Bosque Altoandino, Colombia. *Biota Col.*, 2017;18(Suplemento 1):89-98.
- Ocampo-Zuleta K. La restauración ecológica en escenario de invasión biológica en ecosistemas altoandinos, abordaje desde el Jardín Botánico de Bogotá. En: Pinzón- García P M. et al, editores. Libro de Memorias del III Congreso Colombiano de Restauración Ecológica. Red Colombiana de Restauración Ecológica. Bogotá, Colombia. 2018a. p. 129-141.
- Ocampo-Zuleta K, Beltrán-Vargas J. Modelación dinámica de incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá, Colombia. *Madera y Bosques*, 2018b;24(3):1-20.
- Odum E, Warrett, G. Fundamentos de Ecología. México: Thomson editores. 2006. p. 614.
- Pabón J, Eslava J, Gómez R. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorol. Col.*, 2001;4:47-59.
- Páramo-Rocha G. Susceptibilidad de las coberturas vegetales de Colombia al fuego. En Armenteras-Pascual D, Bernal-Toro F, González-Alonso F, Morales-Rivas M, Pabón-Caicedo J, Páramo-Rocha G, Parra-Lara Á, editores. Incendios de la cobertura vegetal en Colombia. Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. 2011. p. 73-142.
- Parra-Lara Á, Bernal-Toro F. Incendios de cobertura vegetal y biodiversidad: una mirada a los impactos y efectos ecológicos potenciales sobre la diversidad vegetal. *El Hombre y la Máquina*, 2010;35:67-81.
- Parra-Lara Á, Bernal-Toro F. Introducción a la ecología del fuego. En Armenteras-Pascual D, Bernal-Toro F, González-Alonso F, Morales-Rivas M, Pabón-Caicedo J, Páramo-Rocha G, Parra-Lara Á, editores. Incendios de la cobertura vegetal en Colombia. Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente. 2011. p. 17-52.
- Pérez-Cabello F, Echeverría M, de la Riva J, Ibarra P. Apuntes sobre los efectos de los incendios forestales y restauración ambiental de áreas quemadas. Estado de la cuestión y principios generales. *Geographicalia*, 2011;59-60:295-308. DOI: 10.26754/ojs_geoph/geoph.201159-60839}
- Pujol-Geli X. Incendios forestales, erosión y contaminación de acuíferos en el país Valenciano. Dossier, 1995;29-31.
- Pyke D, Brooks M, D'Antonio C. Fire as a Restoration Tool: A DecisionFrameworkforPredictingtheControlorEnhancement of Plants Using Fire. *Restor. Ecol.*, 2010;18(3):274-284. DOI: 10.1111/j.1526-100X.2010.00658.x
- Ramos M, Carrasco Y, Miranda C, Batista A, França A. Relación entre variables meteorológicas e incendios forestales en la Provincia Pinar del Río, Cuba. *Floresta*, 2017;47(3):343-352. DOI: 10.5380/rf.v47i1.50900
- Rangel-Ch,J. Diversidad Biótica III. La región de vida paramuna. Bogotá D.C.: Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 2000. p. 866.
- Resolución No. 0684. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Bogotá, Colombia, 25 de abril de 2018.
- Ríos H. Guía técnica para la restauración ecológica de áreas afectadas por especies vegetales invasoras en el distrito capital: complejo invasor retamo espinoso (*Ulex europaeus* L) - retamo liso (*Teline monspessulana* (L) C. Koch.). Bogotá: Jardín Botánico José Celestino Mutis. 2005. p. 155.
- Rodríguez-Añón J, Fraga F, Proupín-Castiñeiras J, Palacios-Ledo J, Núñez-Regueira L. Calorific values and flammability for forest wasted during the seasons of the year. *Bioresour Technol*, 1995;52:269-274. DOI: 10.1016/0960-8524(95)00034-C
- Rodríguez-Trejo D. Génesis de los incendios forestales. *Revista Chapingo*, 2012;18(3):357-374. DOI: 10.5154/r.rchscfa.2011.12.091
- Rojas S. Estructura y composición florística de la vegetación en proceso de restauración en los Cerros Orientales de Bogotá (Colombia). *Caldasia*, 2017;39(1):124-139. DOI: 10.15446/caldasia.v39n1.60084
- Sarris D, Koutsias N. Ecological adaptations of plants to drought influencing the recent fire regime in the Mediterranean. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2014;184:158-169. DOI: 10.1016/j.agrformet.2013.09.002
- SDA. Formulación del Plan Distrital de Restauración Ecológica 2010 - 2038. Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Ambiente, Pontificia Universidad Javeriana - Escuela de Restauración Ecológica - ERE. 2010a. p. 38.
- SDA. Formulación de la política de conservación de la biodiversidad en el Distrito Capital, su plan de acción y los lineamientos de conectividad ecológica. Bogotá D.C.: Conservación Internacional. 2010b. p. 6.
- SER. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. [On line]. 2004. Disponible en: www.ser.org. Consultado en 2015.
- Smith J. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on fauna. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 1. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 2000. p. 83.
- Tecle A, Neary D. Water Quality Impacts of Forest Fires. *Journal of Pollution Effects & Control*, 2015;3(2):1-7. DOI: 10.4172/2375-4397.1000140

- Torres N, Vargas O. Banco de semillas germinable en áreas invadidas por retamo espinoso (*Ulex europaeus*) con diferentes edades de quema (alrededores del Embalse de Chisacá, Bogotá, Localidad de Usme). En Vargas O, Reyes S, editores. La Restauración Ecológica en práctica: Memorias del I congreso Colombiano de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de experiencias en Restauración Ecológica. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. 2011. p. 491-502.
- Torres R, Giorgis M, Trillo C, Volkmann L, Demaio P, Heredia J, Reninson D. Supervivencia y crecimiento de especies con distinta estrategia de vida en plantaciones de áreas quemadas y no quemadas: un estudio de caso con dos especies leñosas en el Chaco Serrano, Argentina. *Ecol. Austral*, 2015;25:135-143.
- Vargas O, León O, Díaz-Espinosa A. Restauración ecológica en zonas invadidas por retamo espinoso y plantaciones forestales de especies exóticas. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, Secretaría Distrital de Ambiente. 2009. p. 194.
- Vásquez V. Reservas Forestales Protectoras Nacionales de Colombia-Atlas Básico. Conservación Internacional - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá D.C. 2005. p. 127.
- Vega-Hidalgo J. Regeneración del género *Pinus* tras incendios. *Cuadernos de la SECF*, 2003;15:59-68.
- Verzino G, Joseau J, Dorado M, Gellert E, Rodríguez S, Nóbile R. Impacto de los incendios sobre la diversidad vegetal, Sierras de Córdoba, Argentina. *Ecol. apl.*, 2005;4(1-2):25-34.
- Villers M. Incendios Forestales. *Ciencias*, 2006;81:60-66.
- White R, Zipperer W. Testing and classification of individual plants for fire behaviour: plant selection for the wildland-urban interface. *Int. J. Wildland Fire*, 2010;19: 213-227.