

Efecto de factores topoclimáticos sobre una estrategia de restauración ecológica en un área incendiada

Effect of topoclimatic factors on an ecological restoration strategy in a burned area

Iván Rodríguez González^{1*}

María Azula Barrera²

Juan Garibello Peña³

María Gaona Villate⁴

1 y 2. Jardín Botánico José Celestino Mutis

3. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

4. Universidad Distrital Francisco José de Caldas

* Autor de correspondencia: icrodriguez@jbb.gov.co

Recibido: 28/06/2021 | Aceptado: 17/10/2021

Resumen

En el Parque Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes, ubicado en la Cuchilla del Gavilán —extremo suroriental de Bogotá y parte del grupo de cerros y montes de la cordillera oriental de Los Andes—, se establecieron dos unidades experimentales para definir si la estrategia de restauración ecológica implementada en las dos vertientes de la cuchilla fue efectiva para la recuperación del bosque andino, posterior al evento de incendio sucedido en febrero de 2017. Se evaluó el efecto de las caras barlovento y sotavento en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Dicho efecto sobre el material vegetal plantado se evaluó con regresiones lineales múltiples que incluyeron rasgos funcionales como área foliar (AF), densidad de la madera (DM), contenido foliar de materia seca (CFMS) y área foliar específica (AFE). Los resultados parciales de la investigación muestran, en todos los modelos, un mayor incremento en altura y mayor proyección de copa en la vertiente de barlovento. Para el caso de mortalidad, la vertiente de sotavento presenta una mayor mortalidad general de los individuos vegetales. Dichos resultados se podrían explicar teniendo en cuenta las variaciones de humedad en cada una de las vertientes; sin embargo, para explicar con mayor detalle las correlaciones es necesario incluir más variables funcionales y ambientales.

Palabras clave: barlovento, rasgos funcionales, restauración, sotavento.

Abstract

In the Ecological District Park of Mountain Entrenubes, specifically in the Cuchilla del Gavilán, two experimental units were established to define if the ecological restoration strategy implemented in the two slopes of the knife were effective for the recovery of the Andean Forest, after the of fire event that took place in February 2017, the effect of windward and leeward faces was evaluated regarding plant growth and development. This effect on the planted vegetation were evaluated with multiple linear regressions that included functional traits such as leaf area (AF), wood density (DM), foliar dry matter content (CFMS) and specific leaf area (AFE). The partial results of the investigation showed in all the models, a greater increase in height and greater crown projection on the windward slope. In the case of mortality, the leeward slope presents a higher general mortality of individuals. These results are probably explained, by the humidity variations in each of the slopes, however, in order to explain the correlations in detail, it is necessary to include more functional and environmental variables.

Key words: functional traits, leeward, restoration, windward.

Introducción

En el Parque Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes, específicamente en la Cuchilla del Gavilán, se encuentra una zona altamente deforestada y degradada por el aprovechamiento de recursos como leña y tutores para cultivos que se divisan en los alrededores. Asimismo, en la zona se observa el proceso de expansión de la frontera agrícola, donde el uso del fuego como práctica cultural para eliminar residuos de cosechas termina afectando las áreas de bosque secundario. Esto ocasiona que se produzca pérdida de la cobertura vegetal, lo cual se traduce en una transformación de la dinámica natural del ecosistema, produciendo un efecto de paramización (Torres, 2017) y de erosión eólica (Avecilla, Ramirez-Haberkon, Aimar y Buschiazzo, 2016). Considerando que los ecosistemas de montaña producen bienes y servicios como regulación, provisión, soporte y otros de interés cultural y recreacional para el desarrollo de la vida humana (Fernández-Méndez, Velasco-Salcedo, Guerrero-Contecha, Galvis-Rueday Viana Neri), surge la necesidad de conservar y restaurar este tipo de ecosistemas.

En este sentido, la restauración ecológica surge como alternativa para recuperar de forma asistida las dinámicas naturales, especialmente en lo que se refiere a los componentes básicos de estructura, función y composición de especies (Vargas, 2007), con el objetivo es mejorar las condiciones actuales en que se encuentra el ecosistema.

La plantación de especies nativas como estrategia de restauración se encuentra relacionada con condiciones climáticas como el factor ecológico que influencia la fisionomía de la vegetación (Walter, 1977; Petagna de Del Río, 1993; Gliessman, 2002, citados por Duval, Benedetti y Campo A. M., 2015), y por ende su adaptación y supervivencia. La Cuchilla del Gavilán posee un desnivel cercano a los 80 m, donde las vertientes barlovento y sotavento pueden generar condiciones microclimáticas diferenciales para la adaptación de ciertas especies. Si se considera que los individuos vegetales presentan cierta tolerancia al medio en el que se desarrollan (Duval *et al.*, 2015), es importante determinar el nicho para el establecimiento del material vegetal de forma diferencial para la recuperación de esta zona.

En este sentido se estableció un diseño de restauración basado en dos unidades experimentales, con el objetivo de definir si la estrategia de restauración ecológica implementada fue efectiva para la recuperación del bosque andino sobre las dos vertientes de la Cuchilla del Gavilán. El estudio realizado estuvo basado en la incidencia de las corrientes dominantes de viento en la vegetación reintroducida, a las cuales se les realizó monitoreo durante un año. Considerando que las plantas responden de manera diferencial a los microclimas generados por sotavento y barlovento, se evaluaron los efectos de estas corrientes en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Materiales y métodos

Área de estudio. El Parque Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes está conformado por los cerros de Guacamayas, Juan Rey y la Cuchilla del Gavilán. Estos conforman un ecotono bioclimático al suroriente de la Sabana de Bogotá (Corporación Suna Hisca, 2003). La Cuchilla del Gavilán se localiza dentro de la ciudad de Bogotá, específicamente en la localidad de Usme —UPZ Alfonso López, vereda los Soches—; colinda con los barrios El Uval, Alfonso López, Serranías, Tocaimita y Compostelas y forma parte de la estructura ecológica principal de la ciudad, por lo que se comprende dentro

del Parque Ecológico Distrital de Montaña Entrenubes (SDA, 2017). El área afectada por el incendio forestal ocurrido en febrero de 2017, correspondió a dos hectáreas ubicadas entre las coordenadas 4°29'29,5"N - 74° 05'38,2"O y 4°29'28,3"N - 74° 05'39,4"O, con una altitud media de 2950 m s.n.m. y precipitación de 800 a 1200 mm anuales. En cuanto a la temperatura, la zona presenta un promedio anual de 12 a 14 °C, aunque para los meses de enero, febrero, marzo y octubre se pueden presentar temperaturas máximas de 20 °C (SDA, 2017). En cuanto a vegetación, en el estrato arbóreo se pueden encontrar especies como: *Weinmania tomentosa* (encenillo) o *Alnus acuminata* (aliso), *Hesperomeles goudotiana*, *Ilex kunthiana* (palo blanco), *Gaiadendron punctatum* (tagua), *Viburnum triphyllum* (garrocho) y *Vallea stipularis*; arbustos de *Axinea macrophylla*, *Miconia biappendiculata*, *Miconia squamulosa* (tuno esmeraldo), *Baccharis* sp., *Cavendishia bracteata*, *Macleania rupestris* (uva camarona), *Diplostegium rosmarinifolium* y *Macrocarpea glabra*. (Corporación Suna Hisca, 2003).

En agosto de 2017, seis meses después de ocurrido el incendio forestal en la Cuchilla del Gavilán del Parque Entrenubes, se estableció como estrategia de recuperación la plantación de especies nativas.

Diseño de plantación. El diseño de la plantación consistió en módulos conformados por dos hileras de árboles separadas entre sí por una distancia de 1 m. La distancia entre árboles a lo largo de una línea es de 1,5 m., y la distancia entre corredores es de 4,5 m. Cada módulo está conformado por 18 individuos de 12 especies, y se plantaron alternadamente de manera perpendicular a la pendiente (Figura 1).

Se plantó la misma cantidad de individuos en las dos vertientes de la montaña (barlovento y sotavento), con el fin de identificar si las condiciones microclimáticas derivadas de los vientos tenían influencia sobre el desarrollo del material vegetal. Se seleccionó el material vegetal de tal forma que la altura de los individuos de la misma especie fuera semejante, con el fin de poder comparar el desarrollo de cada una de las vertientes de la Cuchilla del Gavilán.

Seguimiento. Entre abril de 2018 y abril de 2019 se efectuaron cuatro seguimientos a las plantaciones establecidas en los módulos. En total, se monitorearon 432 individuos de los 4300 plantados: 216 en barlovento y 216 en sotavento, a los cuales se les tomó altura, diámetro basal, proyección de copa, estado fitosanitario y mortalidad.

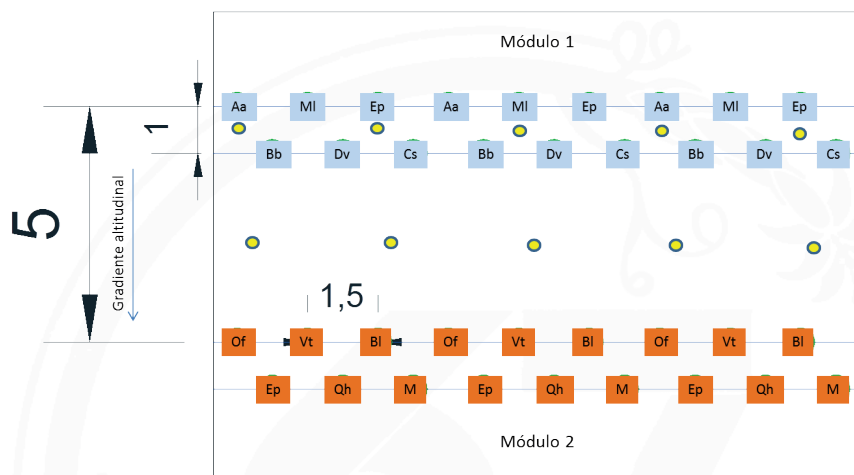


Figura 1. Diseño de la plantación establecida en el área de intervención. Cada rectángulo representa una plántula. Abreviaturas módulo 1: Aa = *Alnus acuminata*; MI = *Myrcianthes leucoxylla*; Ep = *Escallonia paniculata*; Bb = *Baccharis bogotensis*; Cs = *Citharexylum sulcatum*. Abreviaturas módulo 2: Of = *Oreopanax floribundus*; Vt = *Viburnum triphyllum*; Bl = *Baccharis latifolia*; Ep = *Escallonia pendula*; Qh = *Quercus humboldtii*; Mg = *Myrsine guianensis*.

Adicionalmente, como complemento a los datos de seguimiento se extrajeron los datos de rasgos funcionales —área foliar, área foliar específica, contenido foliar de materia seca y densidad de madera— de la base de datos de rasgos funcionales de plantas leñosas nativas y exóticas en áreas verdes de Bogotá (Rodríguez-Alarcón, Pinzón-Pérez, Cruz y Amaya, 2020).

Análisis estadístico. El efecto de la orientación o vertiente de la plantación sobre la variación de la altura del material plantado se evaluó con regresiones lineales múltiples que incluyeron, además, los rasgos funcionales medidos en individuos adultos (Rodríguez-Alarcón *et al.*, 2020) o la identidad taxonómica de los individuos. Todos los análisis y las gráficas se hicieron con el software R (R Core Team, 2019). En este último caso se utilizó el paquete “ggplot2” (Wickham, 2016).

Para los modelos con rasgos, se partió de modelos en los que se incluyó la interacción del factor “orientación” (barlovento/sotavento) con los rasgos AF, DM, CFMS y AFE. Al verificar que ninguna interacción fue significativa, se corrieron modelos con las mismas variables explicativas —pero sin interacciones— mediante los cuales se descartaron rasgos sin asociación significativa con las variables respuesta. De esta manera, al evaluar altura

se descartaron AF y CFMS, y estos dos factores junto con DM al evaluar el área proyectada por la copa. Al graficar la densidad de madera contra la altura —utilizando los datos reales transformados a su logaritmo natural— se evidenció la necesidad de incluir dentro del modelo un término cuadrático para este rasgo, lo cual resultó en un incremento del 8 % en su coeficiente de determinación R^2 .

Para los modelos con identidad taxonómica como factor, también se evaluó inicialmente su interacción con “orientación” (barlovento/sotavento). Esta interacción se descartó tanto para altura como para área de proyección de la copa, al no ser significativa. Los modelos definitivos se evaluaron confirmando la ausencia de patrones al graficar los datos ajustados contra sus residuos (Zuur, Leno, Walker, Saveliev y Smith, 2009).

En los modelos con valores absolutos para altura y área de la proyección de la copa, se transformaron los datos a su logaritmo natural para cumplir el requerimiento de distribución normal de los residuos. Para los modelos comparando el cambio en altura no fue necesario transformar los datos. Los rasgos se transformaron procurando mantener una escala de 0 a 100 que facilitara la convergencia de los modelos.

Resultados

Modelo basado en el incremento de altura del material vegetal plantado

El modelo inicial incluyó rasgos funcionales y evidenció una diferencia entre las alturas de las dos vertientes, siendo significativamente mayor en barlovento que en sotavento. Adicionalmente, el modelo no mostró ningún tipo de asociación entre los rasgos funcionales evaluados y el incremento de altura (Figura 2). Pese a lo mencionado anteriormente, este modelo solo explica el 3 % de la varianza de los datos (R^2 ajustado = 0,03).

Dado que el modelo que incluye rasgos funcionales tiene poco valor predictivo, se corrió un nuevo modelo sin esta variable, el cual explica el 42 % de la varianza de los datos (R^2 ajustado = 0,42). Dicho modelo, al igual que el anterior, señaló una diferencia significativa entre los incrementos de altura del material vegetal entre sotavento y barlovento, siendo mayor en este último (Figura 3). Adicionalmente, el cambio de altura difirió significativamente entre especies; sin embargo, este cambio ocurrió de manera diferente dependiendo de la orientación de la vertiente, lo que significa que hay una interacción significativa entre el factor “orientación” y el factor “especie”.

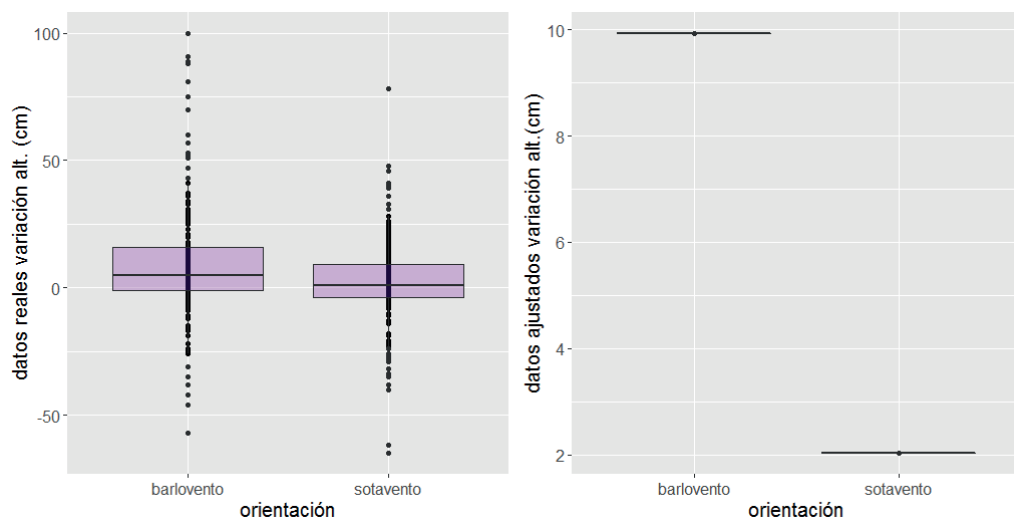


Figura 2. Diferencia de la variación de alturas entre las vertientes de la Cuchilla del Gavilán (Modelo 1).

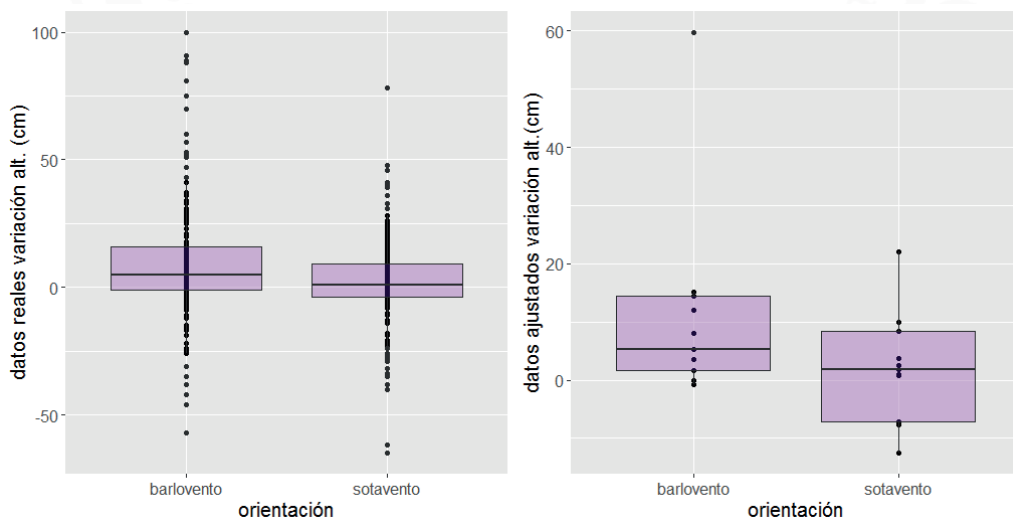


Figura 3. Diferencia de la variación de alturas entre las vertientes de la Cuchilla del Gavilán (modelo 2).

Aunque el incremento de altura es significativamente mayor en las especies *A. acuminata*, *B. bogotensis*, *D. viscosa* y *E. paniculata*, esta diferencia se hace más notoria en la vertiente de barlovento (Figuras 4 y 5).

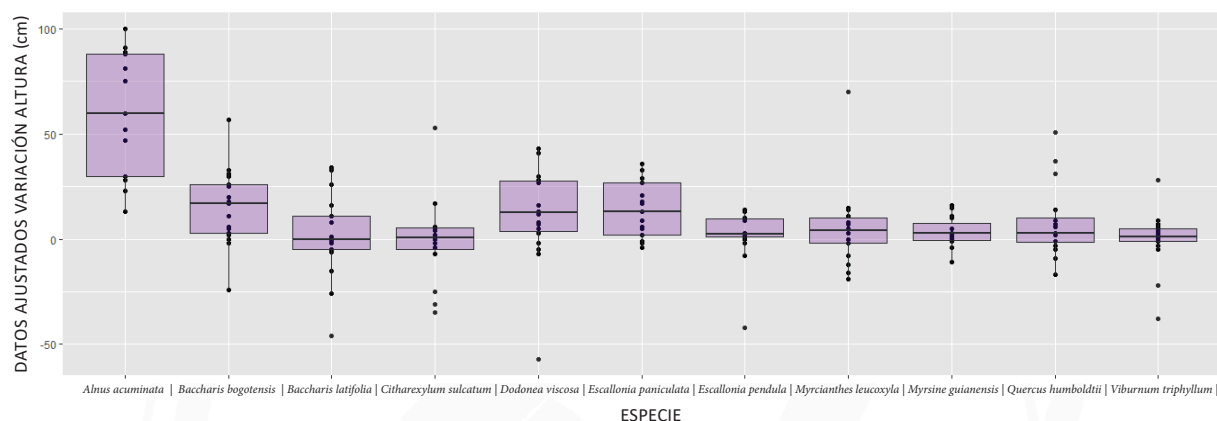


Figura 4. Variación de altura por especie en barlovento.

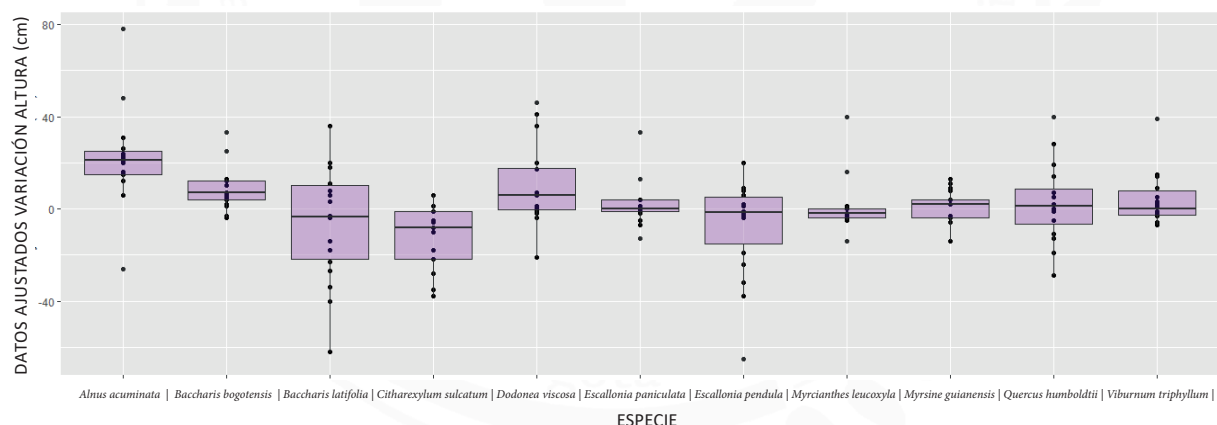


Figura 5. Variación de altura por especie en sotavento.

Modelo basado en proyección de copa del material vegetal plantado

Al igual que para la altura del material vegetal, se elaboró un modelo con la totalidad de las variables. Sin embargo, tuvo un valor predictivo que solo explica el 8 % de la varianza de los datos (R^2 ajustado = 0.08). No obstante, se encontró que el material vegetal plantado en barlovento presentó una mayor proyección de copa, la cual es significativamente superior a los valores de sotavento (Figura 6). Por otro lado, se encontró una correlación lineal positiva entre la proyección de copa y el área foliar específica (Figura 7).

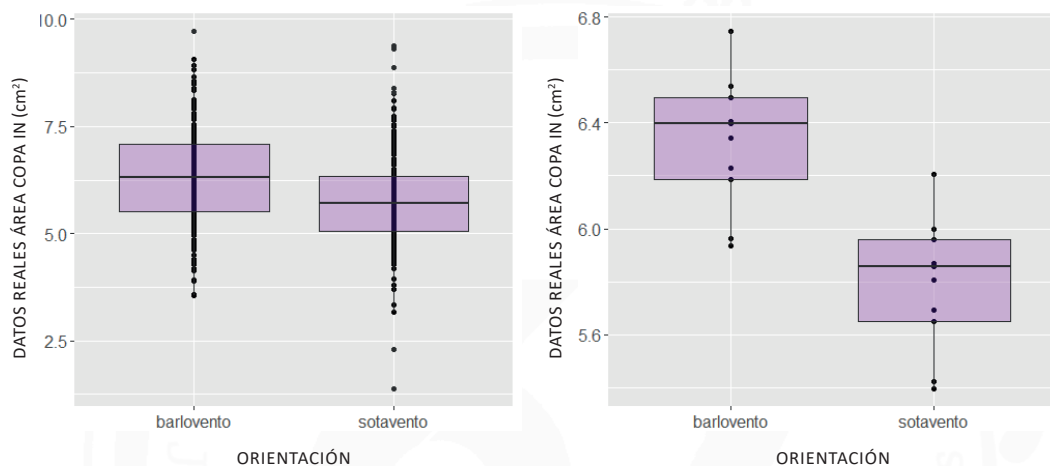


Figura 6. Diferencia de proyección de copa entre las vertientes de la Cuchilla del Gavilán (Modelo 1).

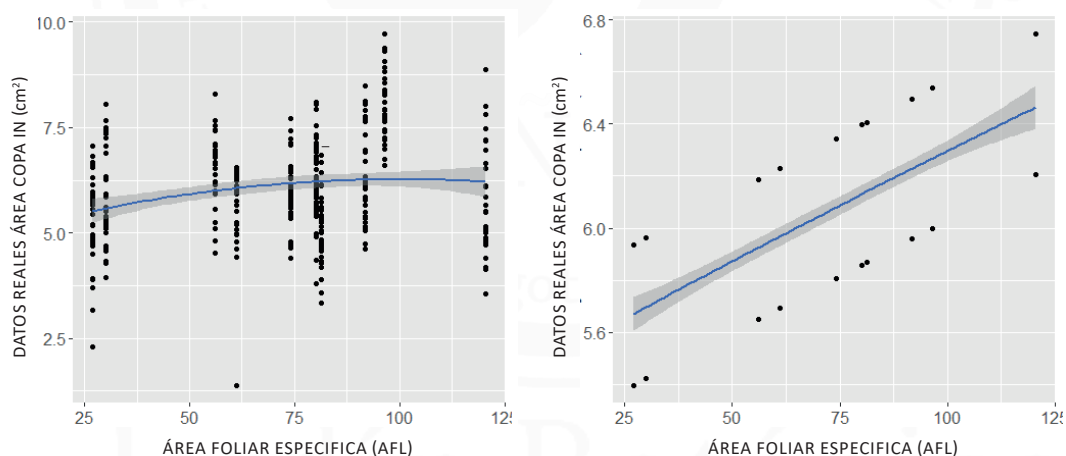


Figura 7. Correlación entre proyección de copa y área foliar específica (Modelo 1). La línea de tendencia fue ajustada y construida por el *software* R Studio.

El segundo modelo —que no incluye rasgos funcionales— explica el 40 % de la varianza de los datos (R^2 ajustado = 0,40) y demuestra una diferencia significativa entre los valores de proyección de copa entre las dos vertientes, siendo mayor en barlovento (Figura 8). A pesar de esto, no se encontraron diferencias significativas entre los valores de proyección de copa entre especies.

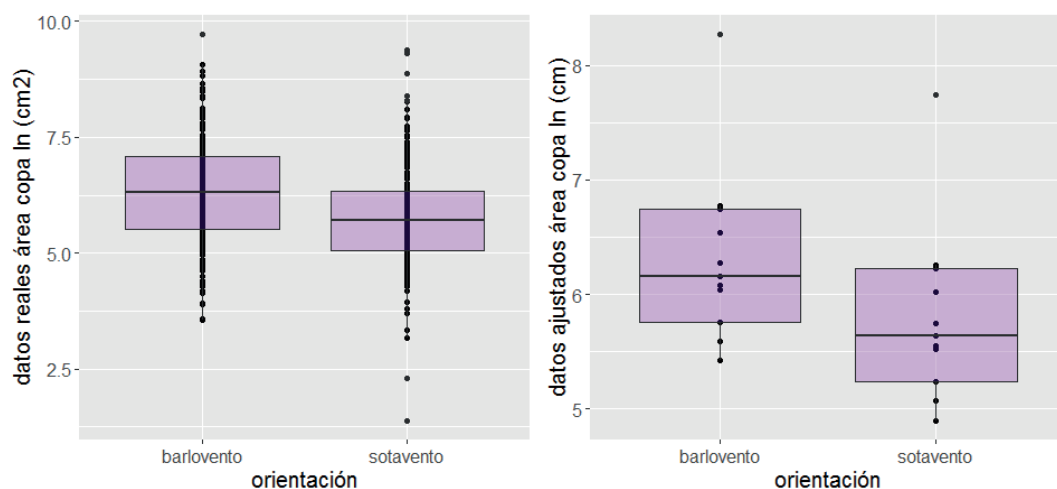


Figura 8. Diferencia de proyección de copa entre las vertientes de la Cuchilla del Gavilán (modelo 2).

Los datos de mortalidad arrojaron un total de 99 individuos muertos de los 432 muestreados, que corresponde a un 22,75%; de estos, 37 se presentaron en barlovento y 62 en sotavento. Las especies que presentan mayor mortalidad son *Citharexylum sulcatum* y *Myrcianthes leucoxyla*; esta última presenta mortalidad solamente en sotavento (Figura 9).

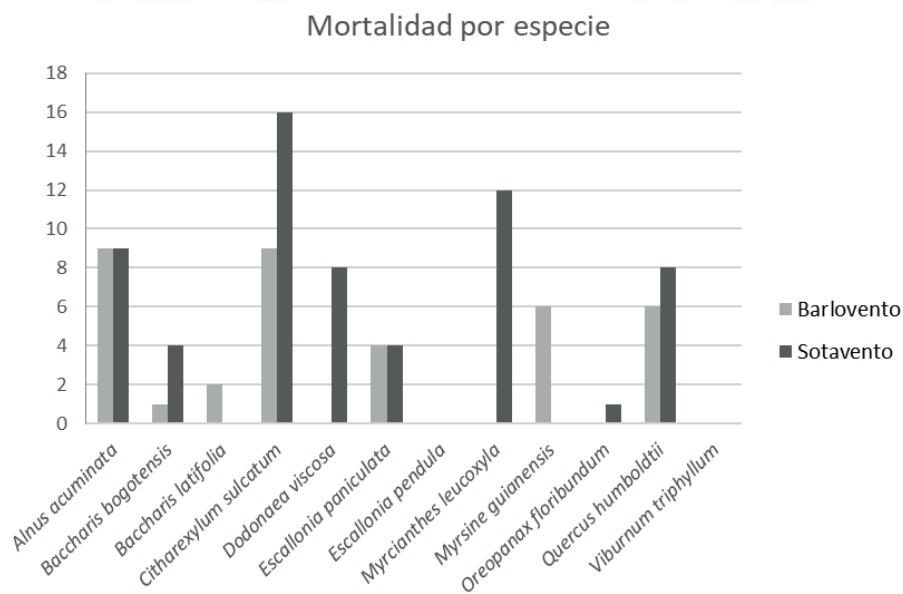


Figura 9. Mortalidad de individuos por especie en cada vertiente. La barra gris claro muestra la cantidad de individuos muertos por especies en barlovento y la barra gris oscuro, los individuos muertos en sotavento.

Discusión

Los resultados parciales de la investigación muestran, en todos los modelos, un mayor incremento en altura y mayor proyección de copa en la vertiente de barlovento. Adicionalmente, la vertiente de sotavento presenta una mayor mortalidad general de los individuos vegetales. Estos resultados sugieren que en barlovento el material no solo tiene una mejor adaptación sino un mayor desarrollo, lo que se puede explicar si se tiene en cuenta que, generalmente, la vertiente de barlovento presenta mayor humedad relativa y edáfica (Anguiano, Alcantar R., Ruiz C., González A. y Vizcaino, 2003), que impide el estrés hídrico de las plantas en épocas de poca lluvia (Dupuy, Santamaría y Cavelier, 1993). En la Cuchilla del Gavilán este fenómeno es especialmente relevante, teniendo en cuenta que la zona presenta vientos entre 12,2 km/h y 19,4 km/h durante el 95% de año, que provienen de la Sabana y arrastran masa de aire cargado de humedad hacia los Cerros Orientales (Corporación Suna Hisca, 2003).

En lo referente a la especie *O. fluribundum* y *V. triphyllum*, la respuesta en cuanto a mortalidad, coincide con lo reportado por (Tirado, 2020), en donde la mortalidad fue muy baja. Por otro lado, la especie *E. paniculata* presentó la misma mortalidad, tanto en sotavento como en barlovento, echo que coincide con lo reportado por Romero y Carreño (2015), a pesar del incremento en diámetro de la especie. La *E. paniculata* es una especie que requiere buenos suelos (CAR, 2009), lo cual no está presente en la zona de estudio debido a la erosión eólica, lo cual pudo impulsar la mortalidad.

Teniendo en cuenta que los modelos no demostraron ninguna correlación significativa de los rasgos funcionales con las variaciones de altura y la proyección de copa, se asume que estas dinámicas de desarrollo y capacidad de adaptación a las condiciones microclimáticas de las vertientes, obedecen a características más complejas de la fisiología específica de cada especie que no se puede explicar únicamente desde rasgos foliares o densidad de madera.

En este sentido, los resultados parciales no permiten proponer especies con características específicas que faciliten su desarrollo en condiciones de sotavento. Sin embargo, sí se presentan especies con baja o nula mortalidad, resistencia y adaptación a estas condiciones, como es el caso de *Viburnum triphyllum*, *Myrsine guianensis*, *Escallonia pendula* y *Baccharis latifolia*. Por otro lado, la especie *Myrcianthes leucoxyla* y *Dodonaea viscosa*, a pesar de

presentar una mala sobrevivencia en condiciones de baja humedad relativa en sotavento, en barlovento presentó una muy buena adaptación, lo que da indicios de los requerimientos de la especie. Sin embargo, aun no se pueden dar conclusiones absolutas hasta que la investigación no se concluya y se complemente con la medición de variables de tipo ambiental.

Conclusión

La estrategia de plantación de individuos arbóreos y arbustivos contribuye positivamente en la recuperación del área afectada por incendio forestal, pues a pesar de los fuertes vientos que se presentan en la Cuchilla El Gavilán, se presenta alta sobrevivencia y desarrollo de los individuos plantados especialmente en la vertiente de barlovento.

Dado que en esta nota se presentan datos parciales, hay una serie de variables ambientales y funcionales que podrían alimentar el modelo de tal forma que se evidencien los factores que explican las diferencias en desarrollo y adaptación del material vegetal en las vertientes de la Cuchilla del Gavilán.

Los resultados de esta investigación pueden ser un insumo importante al momento de seleccionar las especies vegetales para proyectos de restauración ecológica de ecosistemas de montaña, donde el viento pueda ser un factor clave para la conformación de microclimas (incluso a pequeña escala), como es el caso del parque Entrenubes. De manera preliminar, las especies *Escallonia paniculata* y *Viburnum triphyllum* se recomiendan para cualquiera de los dos costados de la colina, la *Dodonaea viscosa*, *Myrcianthes leucoxylla* y *Oreopanax floribundum* son especies con preferencias en zonas con mayor humedad relativa como es el caso de la vertiente barlovento, mientras que *Baccharis bogotensis* y *Myrsine guianensis* se adaptaron mejor a la vertiente de sotavento.

Agradecimientos

Los autores agradecen a las entidades integrantes del Convenio Interadministrativo No. SDA-CV-20171342, No. IDRD 003077 (Secretaría Distrital de Ambiente, Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, Instituto Distrital de Recreación y Deporte e Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático), que aportaron recursos para el desarrollo de los procesos de investigación frente a la recuperación de los ecosistemas nativos del Distrito Capital.

Literatura citada

- Anguiano C.J., J. J. Alcantar R., J. A. Ruiz C., I.J. González A. y Vizcaino V. (2003). *Caracterización edáfica y climática del área productora de aguacate en Michoacán, México*. V Congreso Mundial del Aguacate (Pp. 146-147). Málaga, España.
- Avecilla, F., Ramírez Haberkon, N. Aimar, S. y Buschiazzi, D. (2016). Control de la erosión eólica con un estabilizador artificial en un torripsammente rustico. *Ciencia del Suelo*, 34, 349-354.
- CAR (2009). Adecuación Hidráulica y Recuperación Ambiental Río Bogotá, Anexo 6: Memoria Urbano paisajística. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.
- Corporación Suna Hisca. (2000). Parque Ecológico Distrital Montaña Entrenubes: Componente Biofísico. Plan de Ordenamiento y Manejo Parque Ecológico Distrital Montaña Entrenubes. Bogotá, D.C.: Corporación Suna Hisca.
- Dupuy, J., Santamaría, M. y Cavelier, J. (1993). Estructura del bosque enano nublado de la Serranía de Macuira, Colombia, en laderas de barlovento y botavento. *Biotropica*, 25 (3), 340-344. doi:10.2307/2388792
- Duval, S. D., Benedetti, G. M. y Campo A. M. (2015). Relación clima-vegetación: adaptaciones de la comunidad del jarillal al clima semiárido, Parque Nacional Lihué Calel, provincia de La Pampa, Argentina. *Boletín del Instituto de Geografía*, 88, 33-44. doi: 10.14350/rig.48033
- Fernández-Méndez, F., Velasco-Salcedo, V. M., Guerrero-Contecha, J., Galvis-Rueda, M y Viana Neri, A. (2016). Recuperación ecológica de áreas afectadas por un incendio forestal en la microcuenca Tintales (Boyacá, Colombia). *Colombia Forestal*, 19 (2), 143–160. doi:10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.2.a02
- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rodríguez-Alarcón, S. J., Pinzón-Pérez, L., Cruz, J. L. y Amaya, D. C. (2020). Rasgos funcionales de plantas leñosas en áreas verdes de Bogotá, Colombia. *Biota Colombiana*, 21 (2), 108-133.
- Romero, J. y Carreño, C. (2015). Establecimiento y medición de parcelas para el seguimiento y monitoreo de la vegetación en 4 zonas de Cundinamarca bajo Restauración Asistida (Villapinzón, Bojacá, Granada y Usme). Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C, Colombia.
- SDA (2017). Valoración económica y ambiental de daños causados por el incendio forestal sucedido en el Parque Ecológico Distrital Entrenubes, Cuchilla El Gavilán, Localidad de Usme, Bogotá D.C.: Secretaría Distrital de Ambiente. <https://cutt.ly/8QrcFOu>
- Tirado, A. (2020). *Evaluación del desempeño y supervivencia de siete especies Arbóreas bajo diferentes coberturas de plantación en la reserva forestal protectora bosque*

- oriental de Bogotá*. Trabajo de Grado en modalidad de Pasantía para optar por el título de Ingeniera Forestal. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Torres, C. (2017). Documento Técnico de Soporte Mapa de Amenaza por Incendios Forestales Escala 1:25.000. Informe Final Contrato 277 de 2017. Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (Idiger). Bogotá.
- Vargas, O. (2007) *Estrategias para la Restauración Ecológica del Bosque Altoandino. El caso de la Reserva Forestal Municipal de Cogua, Cundinamarca*. Grupo de Restauración Ecológica. Departamento de Biología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C.
- Walter, H. (1977). Zonas de vegetación y clima, breve exposición desde el punto de vista causal y global. Omega, Barcelona. 245 p.
- Wickham, H. (2016). ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- Zuur, A., Leno, E., Walker, N., Saveliev, A. y Smith, G. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Nueva York: Springer. doi: 10.1007/978-0-387-87458-6