

Los briófitos como bioindicadores de efectos del fuego en la laurisilva canaria

Bryophytes as bioindicators of fire effects on the Canarian laurel forest

DOI: 10.15366/cv2023.27.005

RUYMÁN DAVID CEDRÉS-PERDOMO¹ y JUANA MARÍA GONZÁLEZ-MANCEBO¹

1. Plant Conservation and Biogeography Research Group. Universidad de La Laguna, Dpto. Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal. rcedresp@ull.edu.es, jglezm@ull.edu.es

Resumen/Abstract

Los incendios destruyen los hábitats y degradan el suelo de los ecosistemas. Los briófitos son protagonistas en la laurisilva macaronésica y, debido a su sensibilidad a cambios ambientales, funcionan como indicadores de perturbación. Examinamos las variaciones en la riqueza y composición de briófitos en la laurisilva mejor conservada de Canarias (Parque Nacional de Garajonay) dentro de una cronosecuencia de incendios (5-57 años) comparando los resultados entre zonas quemadas y otras adyacentes con rodales no quemados. Se muestrearon briófitos epífitos, terrícolas y saxícolas, y se analizaron la influencia del tiempo transcurrido tras el incendio, los factores ambientales y la estructura forestal. Nuestros resultados sugieren que no existe un único patrón de recolonización post-incendio y que el clima y la estructura forestal son los factores más significativos. Los resultados permiten comprender las principales tendencias de composición en comunidades de musgos y hepáticas, con alta capacidad de dispersión y fuerte dependencia de los microclimas.

Fires produce habitat destruction and worsen land degradation in ecosystems. Bryophytes are essential elements of Macaronesian laurel forests and because of their sensitivity to environmental changes, they serve as helpful disturbance indicators. In the best-preserved laurel forest from the Canaries (Garajonay National Park), we examined how species richness and composition of bryophytes changed in a fire chronosequence (5-57 years), comparing the results between burnt areas with other adjacent unburnt areas in which sample stands were located. At each plot, epiphyte, terricolous, and saxicolous bryophytes were taken, and the effects of time since fire, environmental factors and forest structural drivers were examined. Our findings suggest that there is no common pattern of post-fire recolonization and that climate and forest structure are the most significant factors. The results deepen our understanding of the compositional trends in communities like mosses and liverworts, which have high dispersal and strong dependence on microclimates.

Palabras clave / Keywords

sucesión ecológica, perturbación, criptógamas, bosques, Canarias

ecological succession, disturbance, cryptogams, forests, Canaries.

Introducción

Los incendios producen cambios en la composición, estructura y patrones de vegetación de los ecosistemas en todo el mundo (Downing *et al.*, 2020). A pesar de ello, este fenómeno forma parte de la dinámica natural de algunos ecosistemas (Resco de Dios, 2020). Sin embargo, los regímenes de los incendios se han incrementado debido al factor antrópico, ya que la mayoría son producidos directa o indirectamente por el ser humano. Por otra parte, el cambio climático ha incrementado la severidad de los incendios. Todo esto ha aumentado la presencia de incendios en ecosistemas donde históricamente este factor no estaba presente (Boer *et al.*, 2021). El fuego, en ecosistemas no propensos a incendios, podría representar una perturbación importante que puede conducir a la pérdida de hábitats o a la extinción de especies (Pausas & Keeley, 2009).

Se han realizado diferentes estudios sobre los procesos de revegetación y sucesión ecológica posteriores a los incendios utilizando plantas vasculares (p. ej., Gosper *et al.*, 2015). No

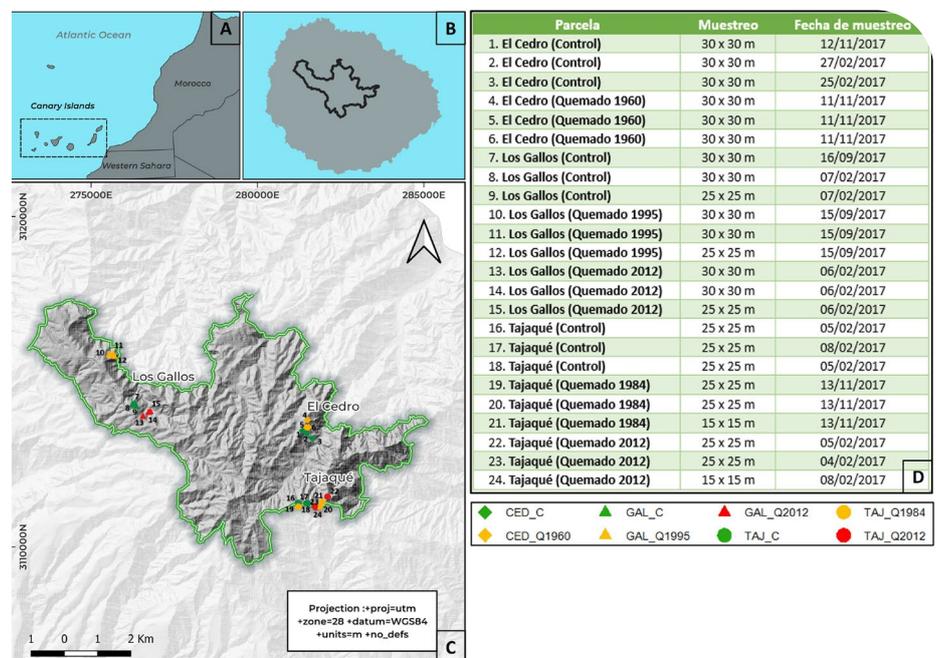


Figura 1. (A) Localización de las islas Canarias, (B) La Gomera, (C) Parque Nacional de Garajonay y (D) las localidades de estudio e información de cada parcela (ver recuadro con la leyenda).

obstante, en la actualidad, no hay investigaciones sobre los efectos del fuego en briófitos de ecosistemas no propensos a incendios, a pesar de que estos organismos son frecuentemente tratados como bioindicadores y utilizados en el mo-



Figura 2. Paisajes dentro del P.N. de Garajonay tras los incendios de 2012. (A y B) dos meses después y (C y D) un año después del incendio. (Fotos: A. Fernández, R. Hernández, JM. González).

nitoreo ambiental debido a su sensibilidad a las condiciones ambientales (Berdugo & Dovciak, 2019). Además, los distintos grupos ecológicos, filogenéticos y estrategias de vida de briófitos (donde se relacionan aspectos como el esfuerzo reproductor y la esperanza de vida) aportan distintas visiones de la diversidad funcional y estabilidad de un ecosistema (Baldwin & Bradfield, 2007).

En Canarias, los incendios de carácter natural sólo representan el 0.8% del total de incendios forestales (Höllermann, 2000) y afectan principalmente a las zonas de pinar. Aunque los bosques de laurisilva canaria no son especialmente propensos a los incendios, debido a sus condiciones de humedad y precipitación de niebla (Nogué *et al.*, 2013), las áreas mejor conservadas suelen estar rodeadas de rodales más secos y perturbados (Del Arco *et al.*, 2006). Estas últimas, son más proclives a sufrir incendios, proporcionando una vía para que el fuego se propague hasta zonas más preservadas.

Los efectos del fuego en la diversidad de briófitos en los ecosistemas canarios, y de los bosques de laurisilva en particular, están pobremente documentados (Bello-Rodríguez *et al.*, 2019), ya que tan sólo se conocen los estudios publicados de Hernández-Hernández *et al.* (2017) y Cedrés-Perdomo *et al.* (2023). En este trabajo reflejamos resultados no publicados del trabajo de Cedrés-Perdomo *et al.* (2023), donde se evalúa la influencia de las condiciones ambientales, así como de la estructura del bosque y del tiempo transcurrido tras el incendio sobre las comunidades de briófitos en bosques de laurisilva del Parque Nacional de Garajonay.

Material y Métodos

Área de estudio y cronosecuencia de incendios

El área de estudio se sitúa en el Parque Nacional de Garajonay (La Gomera), el cual incluye las formaciones de laurisilva macaronésicas mejor conservadas de las islas Canarias (Fig.1). Se estudiaron cinco áreas afectadas por cuatro eventos diferentes de incendios (Fig.2): en 1960 (El Cedro), 1984 (Tajaqué), 1995 (Los Gallos) y 2012 (Los Gallos y Tajaqué). En cada localidad se seleccionaron seis parcelas (tres incendiadas y tres controles). Los incendios de 1995 y 2012 (Los

Gallos) ocurrieron en la misma localidad, por lo que comparten las mismas parcelas control, al igual que ocurre con los incendios de 1984 y 2012 (Tajaqué).

Método de muestreo

Se analizaron un total de 1158 muestras recolectadas en 2017 y repartidas en 24 parcelas, para comparar la riqueza y composición de briófitos entre parcelas quemadas (de 5-57 años tras el incendio) con zonas aledañas no incendiadas, al menos en los últimos 200 años. El tamaño de la parcela muestreada fue variable en cada localidad para asegurar la homogeneidad en las características de la estructura del bosque entre tratamientos (Fig. 1D).

En cada parcela se muestrearon briófitos en todos los sustratos: para la roca y el suelo se realizaron nueve muestreos aleatorios de 20 x 20 cm; y para los epífitos, se muestrearon tres individuos en cada especie de árbol presente en cada una de las parcelas seleccionadas. El muestreo fue aleatorio y en cuatro niveles de su distribución vertical en metros: base (0-1m), tronco (1-2,5m), copa interna (1m bajo la base de la copa) y copa externa (en los 2m últimos de la copa). Para el muestreo de la copa externa se seccionó la parte terminal de dos ramas en cada individuo, utilizando técnicas sencillas de escalada cuando fue necesario. Los briófitos fueron primero identificados en el campo para estimar su cobertura relativa y después llevados al laboratorio para su confirmación. Las especies fueron clasificadas según su grupo taxonómico (musgos y hepáticas), sustrato (epífitos, terrícolas y saxícolas) y estrategia de vida. Para ello, se siguió la clasificación de Doring (1992), quien distingue seis estrategias basándose en la esperanza de vida y el esfuerzo reproductor de las especies: fugaces, colonizadoras, itinerantes anuales, itinerantes de vida corta, itinerantes de vida larga y perennes.

Variables estudiadas y análisis de datos.

Las variables ambientales registradas en cada parcela fueron: elevación (medida en el punto central de la parcela), temperatura media anual y precipitación anual, estimadas mediante interpolación de datos publicados (Del Arco *et al.*, 2009) de estaciones meteorológicas. Para este propósito se utilizó la herramienta de interpolación de Arcgis 10.1. La precipitación de nieblas fue tomada a partir de estaciones climáticas en diferentes sectores dentro del Parque Nacional de Garajonay y luego extrapolados para todo el área del parque. Para la estructura del bosque se siguió la clasificación usada por Bello-Rodríguez *et al.* (2019) de acuerdo a la altura de los árboles, que se dividieron en estratos, empezando el primero desde los 2 metros y los posteriores en rangos de 5 metros hasta alcanzar los 32 metros. Con estos datos, para cada parcela se obtuvo un valor de 0-1 aplicando el índice de Pielou (1969). Por último, se consideró el tiempo transcurrido desde el incendio como una variable adicional para cuantificar su impacto en la riqueza y composición de briófitos. Esto se realizó teniendo en cuenta los incendios a lo largo de una cronosecuencia que abarcó un periodo de 5 a 57 años, así como las parcelas control que no habían sufrido incendios en al menos 200 años. Para la realización de los análisis (correlaciones de Spearman y de especies indicadoras) se utilizaron los paquetes "proxy", "Hmisc", "vegan", "permute" e "indispesies" en el entorno de Rstudio v. 3.6.1. Los análisis de ordenación (DCA) fueron realizados en CANOCO 4.5 para Windows.

Resultados y discusión

Se identificaron 90 especies (54 musgos y 36 hepáticas) pertenecientes a 54 géneros (57 especies epífitas, 70 terrícolas y 43 saxícolas). Respecto a las estrategias de vida, se identificaron 37 especies colonizadoras, 30 perennes, 14 itinerantes de vida larga, 7 itinerantes de vida corta, 1 fugaz y 1 itinerante anual. Las parcelas quemadas mostraron una mayor diversidad de especies (79), en comparación con las registradas en las parcelas control (67). Esto se atribuyó a la heterogeneidad climática que caracteriza los distintos estadios post-incendio en las áreas afectadas por el fuego. Esto provoca un aumento en especies cosmopolitas y oportunistas terrícolas (Tabla 1), lo cual se corrobora en la mayor riqueza de especies terrícolas en las parcelas quemadas (54) respecto a las parcelas control (41). Además, a la riqueza total de especies en las parcelas quemadas en los incendios más antiguos (1960, 1984) se le suma la incipiente colonización de especies más nobles, es decir más longevas y normalmente endémicas, como las siguientes *Porella canariensis*, *Exsertotheca intermedia*, *Leucodon canariensis* y *Leptodon longisetus*, abundantes y protagonistas en los bosques de laurisilva maduros. Respecto a los epífitos y saxícolas encontramos mayor diversidad en las parcelas control (50 y 43 especies, respectivamente) que en las quemadas (44 y 40 especies, respectivamente).

En cuanto a la estrategia de vida, la dinámica colonizadora fue la dominante en las parcelas quemadas (34 especies), mientras que las especies perennes predominaron en las parcelas control (28). Esto se debe a que, en las parcelas no perturbadas, existe una estabilidad y diversidad funcional, que propicia la existencia de especies más longevas, frente a la inestabilidad de las parcelas afectadas por el fuego, en las que se ven favorecidas especies pioneras de rápido crecimiento.

Respecto a los análisis de ordenación (Fig.3), se observó que las parcelas control mostraron una mayor homogeneidad en la composición de especies dentro de una misma localidad. En contraste, las parcelas quemadas, que se encontraban en diferentes estadios sucesionales post-incendio, presentaron una mayor heterogeneidad de especies. Además, se observa una separación evidente entre las parcelas a mayor altitud (Tajaqué, en el lado derecho del gráfico) y las situadas a altitudes más bajas (El Cedro y Los Gallos). Esto se ve corroborado por las correlaciones de Spearman entre los valores del eje 1 y las variables ambientales: precipitación ($R^2 = 0,063$), precipitación de niebla ($R^2 = 0,035$), temperatura ($R^2 = -0,110$). Además, factores como el tiempo transcurrido tras el incendio ($R^2 = -0,056$) y la estructura del bosque ($R^2 = -0,045$), también juegan un papel importante en la composición de briófitos de las parcelas.

Tabla 1. Análisis de especies indicadoras presentes en cada localidad ordenadas según fueron afectadas por el incendio más reciente (2012), al más antiguo (1960) y seguidas por las no afectadas por incendios (control). Se muestra el grupo taxonómico, la estrategia de vida y el valor de significancia para cada especie ($p < 0.05$ (*); $p < 0.005$ (**); $p < 0.0001$ (***)).

Localidad	Especie	Grupo taxonómico	Estrategia de vida	Valor significancia
Los Gallos (2012)	<i>Reboulia hemisphaerica</i>	Hepática	I. de vida corta	0.195 ***
	<i>Fossombronina sp.</i>	Hepática	I. anual	0.131 *
Tajaqué (2012)	<i>Ptychostomum torquescens</i>	Musgo	Colonizadora	0.219 ***
	<i>Bryum argenteum</i>	Musgo	Colonizadora	0.196 ***
	<i>Funaria hygrometrica</i>	Musgo	Fugaz	0.193 ***
	<i>Ptychostomum imbricatum</i>	Musgo	Colonizadora	0.170 ***
	<i>Geheebia siccula</i>	Musgo	Colonizadora	0.170 **
	<i>Polytrichum juniperinum</i>	Musgo	Colonizadora	0.155 **
	<i>Ceratodon purpureus</i>	Musgo	Colonizadora	0.139 **
	<i>Trichostomopsis australasiae</i>	Musgo	Colonizadora	0.139 **
Los Gallos (1995)	<i>Frullania microphylla</i>	Hepática	I. de vida larga	0.313 ***
	<i>Pogonatum aloides</i>	Musgo	Colonizadora	0.256 ***
	<i>Fissidens curvatus</i>	Musgo	Colonizadora	0.247 ***
	<i>Microlejeunea ulicina</i>	Hepática	I. de vida corta	0.180 **
	<i>Calypogeia fissa</i>	Hepática	Colonizadora	0.168 **
Tajaqué (1984)	<i>Pogonatum nanum</i>	Musgo	Colonizadora	0.139 *
	<i>Scapania undulata</i>	Hepática	Colonizadora	0.390 ***
	<i>Cephaloziella turneri</i>	Hepática	Colonizadora	0.132 *
El Cedro (1960)	<i>Frullania azorica</i>	Hepática	I. de vida larga	0.214 ***
	<i>Trichostomum brachydonium</i>	Musgo	Colonizadora	0.169 **
Los Gallos (Control)	<i>Frullania dilatata</i>	Hepática	I. de vida larga	0.146 *
	<i>Brachythecium rutabulum</i>	Musgo	Perenne	0.159 *
Tajaqué (Control)	<i>Pseudoscleropodium purum</i>	Musgo	Perenne	0.236 ***
	<i>Antitrichia curtispindula</i>	Musgo	I. de vida larga	0.217 ***
El Cedro (Control)	<i>Porella obtusata</i>	Hepática	I. de vida larga	0.189 **
	<i>Plagiochila maderensis</i>	Hepática	Perenne	0.139 *

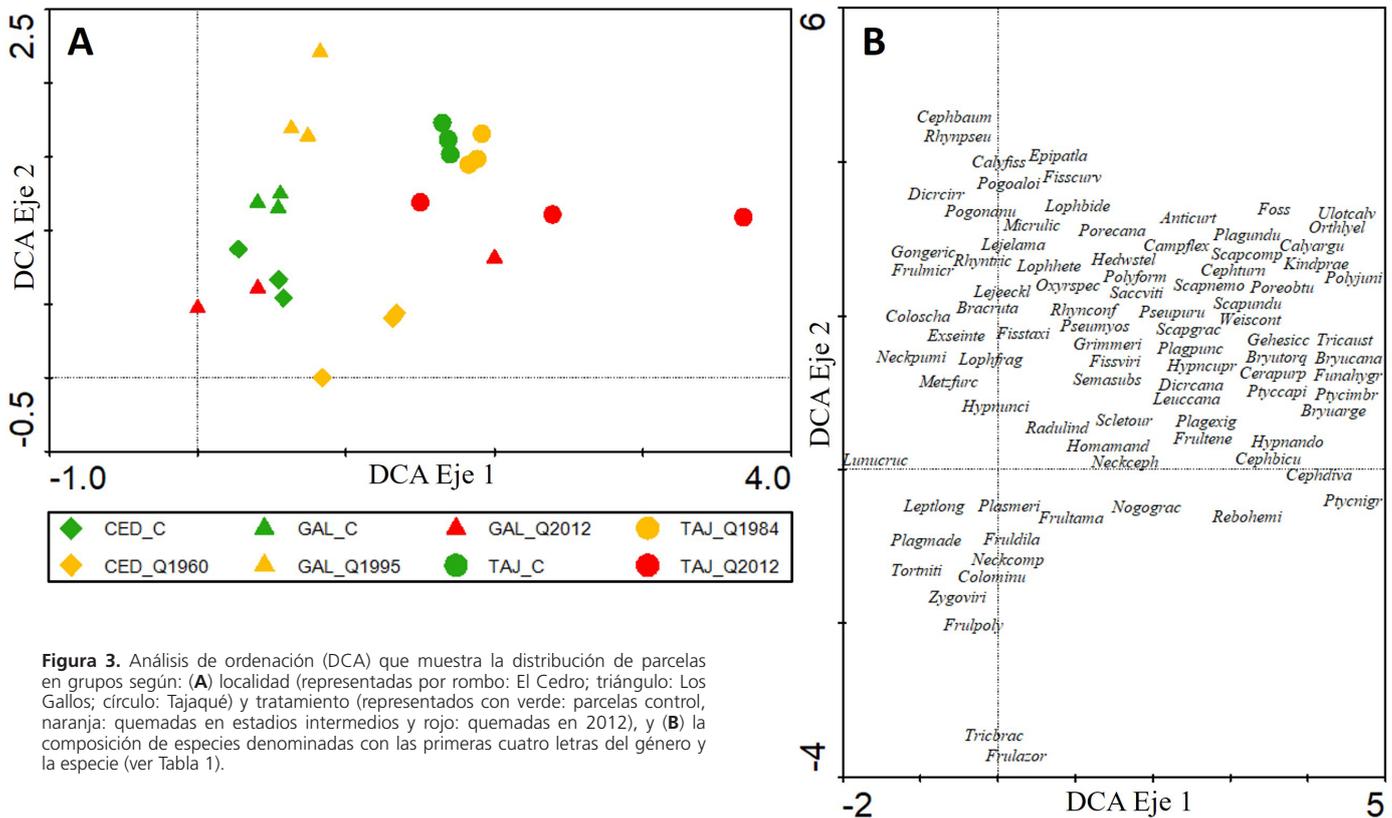


Figura 3. Análisis de ordenación (DCA) que muestra la distribución de parcelas en grupos según: (A) localidad (representadas por rombo: El Cedro; triángulo: Los Gallos; círculo: Tajaqué) y tratamiento (representados por verde: parcelas control, naranja: quemadas en estadios intermedios y rojo: quemadas en 2012), y (B) la composición de especies denominadas con las primeras cuatro letras del género y la especie (ver Tabla 1).

En el análisis de especies indicadoras (Tabla 1) podemos observar las notables diferencias detectadas en cuanto a la composición de especies entre las distintas parcelas muestreadas. Entre las parcelas incendiadas resultan indicadoras especies de corta esperanza de vida, en su mayoría colonizadoras. Por el contrario, entre las parcelas control, predominan especies de larga esperanza de vida y propias de sustratos que permanecen inalterados durante períodos prolongados. Cabe destacar la presencia de una especie endémica macaronésica y en peligro de extinción, *Plagiochila maderensis*, únicamente hallada en las parcelas control de El Cedro.

Conclusiones

Con el aumento de la frecuencia e intensidad de incendios en muchas regiones del mundo, incluyendo la Macaronesia, se incrementan sus efectos negativos en los ecosistemas y su biodiversidad, lo que conlleva la pérdida de hábitats singulares. Comprender cómo las comunidades responden a este escenario es de vital importancia para una adecuada gestión y conservación de hábitats y especies. Hemos observado como los incendios provocan cambios drásticos en la riqueza y composición de especies de briófitos de las parcelas de laurisilva analizadas en el P.N. de Garajonay. Así, los incendios provocan un *turnover* de especies, eliminando las más longevas, e incluso endémicas, en favor de aquellas cosmopolitas y pioneras, indicadoras de perturbación. Estos cambios no se ven revertidos ni en la cronosecuencia de incendios más antigua (57 años), donde siguen dominando especies de corta esperanza de vida. Aunque no existe un patrón común de recolonización post-incendio, se observa una comunidad característica en los primeros estadios sucesionales en el sustrato terrícola. En estos suelos dominan especies cosmopolitas de estrategia colonizadora (*Bryum*

s.l., *Didymodon s.l.*, *Ceratodon purpureus...*), y oportunistas como la única fugaz identificada en el campo, *Funaria hygrometrica*. A medida que transcurre más tiempo tras el incendio, las variables ambientales y la estructura del bosque desempeñan un papel crucial en la recolonización por parte de los briófitos. Esto se traduce en distintas comunidades, obediendo a distintos patrones de enriquecimiento post-incendio. Es de suma importancia extender este tipo de estudios a cronosecuencias de incendios más amplias, así como a otros ecosistemas y organismos. Esto contribuiría a comprender mejor las consecuencias de esta perturbación en los hábitats. A su vez, ayudaría a monitorear la salud de los hábitats, y a que los científicos y gestores puedan tomar medidas adecuadas encaminadas a la restauración y conservación de los ecosistemas.

Agradecimientos

Agradecemos profundamente a Julio Leal, Ángel Fernández, Israel Rodríguez, Genaro Barrera, Luis Gómez, Ángel Mallorquín, Jonay Cubas y Jairo Patiño por su ayuda en el campo. También agradecemos la ayuda de Víctor Bello y Juan García con la aportación y ayuda en datos cartográficos. Agradecemos también a la financiación del proyecto con expediente S20141203_002597 del Organismo Autónomo Parques Nacionales y a la cofinanciación de la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información de la Consejería de Economía, Conocimiento y Empleo y por el FSE Programa Operativo Integrado de Canarias 2014-2020, Eje 3 Tema Prioritario 74 (85%) para la realización de la tesis doctoral con expediente TESIS2020010071.

Bibliografía

- Baldwin LK & GE Bradfield. (2007) Bryophyte responses to fragmentation in temperate coastal rainforests: a functional group approach. *Biological Conservation*, 136(3), 408-422.
- Bello Rodríguez V, Gómez LA, Fernández López Á, Del Arco Aguilar MJ, Hernández Hernández R, Emerson B, & JM González Mancebo (2019) Short and long term effects of fire in subtropical cloud forests on an oceanic island. *Land Degradation & Development*, 30(4), 448-458.
- Berdugo MB & M Dociak (2019) Bryophytes in fire waves: Forest canopy indicator species and functional diversity decline in canopy gaps. *Journal of Vegetation Science*, 30(2), 235-246.
- Boer MM, De Dios VR, Stefaniak EZ, & RA Bradstock (2021) A hydroclimatic model for the distribution of fire on Earth. *Environmental Research Communications*, 3(3), 035001.
- Cedrés-Perdomo RD, Hernández-Hernández R, Emerson BC, & JM González-Mancebo (2023) Multiple responses of bryophytes in a chronosequence of burnt areas in non-fire prone subtropical cloud forests. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 58, 125702.
- Del Arco MJ, Wildpret W, Pérez De Paz PL, Rodríguez O, Acebes JR, García-Gallo A, Martín VE, Reyes-Betancourt JA, Salas M, Bermejo JA, González R, Cabrera MV, S García (2006) *Mapa de Vegetación de Canarias*. GRAFCAN, Santa Cruz de Tenerife, p. 550.
- Downing WM, Krawchuk MA, Coop JD, Meigs GW, Haire SL, Walker RB, Whitman E, Chong G, Miller C & C Tortorelli (2020) How do plant communities differ between fire refugia and fire-generated early-seral vegetation? *Journal of Vegetation Science*, 31 (1), 26–39.
- During HJ (1992) Ecological classifications of bryophytes and lichens. In: Bates JW, AM Farmer (Eds.), *Bryophytes and Lichens in a Changing Environment*. Clarendon Press, Oxford, pp. 1–31.
- Gosper CR, Pettit MJ, Andersen AN, Yates CJ & SM Prober (2015) Multi-century dynamics of ant communities following fire in Mediterranean-climate woodlands: are changes congruent with vegetation succession? *Forest Ecology and Management*, 342, 30–38.
- Hernández-Hernández R, Castro J, Del Arco Aguilar M, Fernández-López ÁB & JM González-Mancebo (2017) Post-fire salvage logging imposes a new disturbance that retards succession: the case of bryophyte communities in a Macaronesian laurel forest. *Forests*, 8(7), 252.
- Höllerermann P (2000) The impact of fire in Canarian ecosystems 1983–1998. *Erdkunde* 54, 70–75.
- Nogué S, de Nascimento L, Fernández-Palacios JM, Whittaker R & KJ Willis (2013) The ancient forests of La Gomera, Canary Islands, and their sensitivity to environmental change. *Journal of Ecology*, 101 (368), 377.
- Pausas JG & JE Keeley (2009) A burning story: the role of fire in the history of life. *BioScience*, 59 (7), 593–601.
- Pielou, EC (1969) *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley Interscience - John Wiley and Sons, New York.
- Resco de Dios, V (2020) *Plant-fire interactions*. In: *Applying Ecophysiology to Wildfire Management*, 36. Springer, Cham, Switzerland.

Traganum moquinii, balancón, clave en la formación dunar en el proyecto MASDUNAS

DOI: 10.15366/cv2023.27.006

Traganum moquinii, key in the dune formation in MASDUNAS project

MARTA MARTÍNEZ PÉREZ¹, MANUEL VIERA PÉREZ², FRANCISCO LEÓN ALEMÁN³, JESÚS PADRÓN GARCÍA¹ y YARELY SEGURA HERNÁNDEZ¹

1. Cabildo de Gran Canaria, Servicio de Medioambiente. mmartinezp@grancanaria.com

2. Grupo de Investigación Geografía Física y Medio Ambiente (gGFyMA) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC).

3. Gestión y Planeamiento Territorial y Medioambiental, S.A (GESPLAN).

Resumen/Abstract

La restauración ambiental de la duna costera es una de las actuaciones más importantes en la conservación del sistema dunar en la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas. El proyecto Masdunas, desarrollado por el Cabildo de Gran Canaria, nace con la finalidad de buscar las fórmulas adecuadas para frenar el proceso de degradación ambiental que se ha ido produciendo durante los últimos 50 años en las dunas de esta RNE, como consecuencia del uso desordenado y descontrolado de sus recursos. Para renaturalizar la duna costera (foredune) se han realizado diferentes actuaciones: 1) Delimitación física de parcelas de protección de *Traganum moquinii* Webb ex Moq. in DC. y su seguimiento, 2) Instalación de captadores de arena (estructuras para atrapar arena), pantallas y plantación de balancónes que son los responsables de la formación de dunas en montículo (nebkhas) y 3) Eliminación de las presiones que afectan a la dinámica natural sedimentaria. Los resultados del seguimiento científico, han establecido directrices claras para mejorar la gestión del área protegida.

Environmental restoration of the coastal dune is one of the most important procedures for the conservation of the dune system in the Special Natural Reserve of Dunas de Maspalomas. Masdunas project, developed by the Council of Gran Canaria, is born with the objective of searching for adequate ways of halting the environmental degradation process befalling the dune system for the last 50 years as consequence of the disruptive and disarray use of its resources. In order to rewild the coastal dune (foredune) various operations have been set in motion: 1) Spatial delimitation and follow-up of protection plots for Traganum moquinii Webb ex Moq. in DC. "balancónes", 2) Preparation of sand collectors (structures devised to round up sand), which are responsible for the formation of mound dunes (nebkhas) and 3) Removal of pressure sources that afflict the natural sedimentary dynamic. The scientific follow-up results have established clear directives for improving the management of this protected space.

Palabras clave/ Keywords

Duna costera, renaturalización, cambio climático

Foredune, rewilding, climate change