Perspectivas de biogeografía insular funcional desde la flora nativa e invasora de Canarias

DOI: 10.15366/cv2025.29.003

Functional island biogeography perspectives for native and invasive flora of the Canary Islands

WOLF H. WILDPRET MARTÍN[1]

1.Universidad Georgia-Augusta de Gotinga, Dpto. de Biodiversidad, Biogeografía y Macroecología. (wolf.wildpret.martin@gmail.com)

Resumen / *Abstract*

Los caracteres funcionales gozan de gran popularidad porque permiten comparar especies de manera objetiva y estandarizada y comprender los efectos de la insularidad en la composición funcional de una flora. Nuevos avances técnicos y de gestión de datos nos permiten disponer de muchas facilidades a la hora de investigar problemas macroecológicos. Además, las islas Canarias presentan un contexto biótico y abiótico idóneo para investigar cómo la insularidad influye sobre los rasgos funcionales de las plantas, su evolución y cómo las especies exóticas invasoras y la pérdida de especies amenazadas alteran la diversidad funcional insular. Con este proyecto internacional pretendemos avanzar en el estudio de la biogeografía insular funcional y sentar las bases para análisis futuros que tengan en cuenta otras adaptaciones fundamentales de las plantas a su entorno.

Functional traits are very popular because they allow us to compare species in an objective and standardised way and to understand the effects of insularity on the functional composition of a flora. New technical and data management advances have made it much easier to investigate macroecological problems. In addition, the Canary Islands present an ideal biotic and abiotic context to investigate how insularity influences the functional traits of plants, their evolution and how invasive alien species and the loss of threatened species alter the functional diversity of islands. With this international project we aim to advance the study of functional island biogeography and lay the groundwork for future analyses that take into account other fundamental adaptations of plants to their environment.

Palabras clave / *Keywords*

Ecología, biogeografía insular, rasgos funcionales, endemismos, Macaronesia

Ecology, island biogeography, functional traits, endemism, Macaronesia

La ecología a través de los caracteres de las especies

Unos términos que se han popularizado en los últimos años en la ecología vegetal son los referidos a los rasgos o caracteres funcionales de las plantas. Pero ¿qué son los rasgos funcionales y por qué gozan de la popularidad actual? Consecuentemente, ¿qué importancia tiene el estudio de estos rasgos aplicados en la ecología funcional? En este artículo divulgativo analizamos estas preguntas y expondremos estudios que estamos llevando a cabo actualmente en las islas Canarias para avanzar en nuestra comprensión de las características funcionales de las floras insulares y de cómo estas características están siendo alteradas por la introducción de especies alóctonas, algunas potencialmente invasoras. Esta labor es el resultado de una cooperación internacional ambiciosa que incluye a un equipo multidisciplinar de la Universidad de La Laguna, el instituto IPNA-CSIC, el Jardín Canario Viera y Clavijo UA de I+D+i - CSIC de Gran Canaria, la Universidad Georgia-Augusta de Gotinga y la Universidad Goethe de Frankfurt, ambas en Alemania.

Los rasgos funcionales son el objeto de estudio fundamental del campo de la ecología funcional y de campos derivados como la biogeografía insular funcional. Estos rasgos son intrínsecos de cada individuo y engloban características morfológicas (tamaño de la hoja, densidad del tallo, altura, etc.), fenológicas (época de floración y fructificación, época de germinación, etc.) como fisiológicas (concentraciones de taninos, nitrógeno foliar, capacidad fotosintética, etc.). Es decir, pueden ser cualquier característica medible al nivel del individuo y es fundamental que tengan unidades de medida y definiciones claras (Violle *et al.*, 2007). El uso estandarizado de los mismos rasgos para multitud de especies nos permite hacer comparaciones sistemáticas de las diferencias entre especies y de los factores que alteran la expresión de estos rasgos.

Uno de los axiomas fundamentales de la ecología funcional es que todas las especies, indistintamente del reino taxonómico al que pertenezcan, interactúan con su medio biótico y abiótico a través de sus rasgos funcionales y que por tanto la expresión o variabilidad de estos rasgos son los que definen de manera causal los nichos que esa especie puede ocupar y por tanto su distribución y función en un ecosistema (compárese Figs. 1 y 2 para apreciar un ejemplo de esta variabilidad) (Laughlin, 2023). Es esta perspectiva de poder explicar aspectos tan fundamentales de la ecología la que nos atrae a este campo de investigación y la que en nuestra opinión explica su preponderancia actual. Es por tanto fundamental la selección de rasgos funcionales que sean relevantes para explicar estos patrones de distribución y de interacciones que observamos en y entre especies. Históricamente muchos rasgos funcionales han sido expresados como características categóricas en estudios taxonómicos. Probablemente el ejemplo más antiguo sea la clasificación de Teofrasto en 287

a.C en su obra *Historia Plantarum* de las plantas en árboles, arbustos, subarbustos y herbáceas. A la que suceden clasificaciones como la de Raunkiær, que las clasifica en categorías como fanerófitos, caméfitos, terófitos o geófitos basándose en la posición de los meristemas latentes (Raunkiær, 1934; Laughlin, 2023). Estudios iniciados por Hermann Meusel y continuados por Kornelius Lems y Pierre Dansereau entre las décadas de los 50 y 60 del siglo XX fueron pioneros en aplicar estos conceptos a la flora canaria. Lems (1961) demostró que existen diferencias en la proporción de árboles, arbustos y herbáceas entre las islas, estando el tamaño del área bajo influencia de nieblas en las islas relacionada positivamente con la proporción de árboles en su flora y habiendo una mucho mayor proporción de especies arbustivas entre las endémicas que entre las introducidas. Desde entonces, el avance de las técnicas de medida y especialmente del procesamiento de datos y procesos estadísticos además de un deseo de utilizar medidas objetivamente definibles e interoperables entre especies ha sido fundamental en los últimos años para explicar otra parte de la actual popularidad de la ecológica funcional. En la última década y media ha habido además un importante esfuerzo por estandarizar, mediante la publicación de protocolos metodológicos, la medida de rasgos funcionales y de las definiciones por las que se especifican exactamente qué estructuras de la planta se deben considerar para computar rasgos funcionales compuestos (ver p. ej. Pérez-Harguindeguy *et al.,* 2013).

El avance tecnológico como catalizador de la ecología funcional

Otro avance importante de los últimos años ha sido la publicación de diversas bases de datos a nivel mundial con información sobre rasgos funcionales. Sin pretender presentar una lista exhaustiva de las actualmente disponibles, hay algunas que merece la pena destacar. Para empezar la eminentemente más extensa de todas es TRY (del inglés: "intentar" por lo ambicioso del proyecto). Una base de datos con más de 15 millones de registros gestionada principalmente por el centro el instituto Max Planck de Biogeoquímica en Jena, Alemania y por cuya iniciación recibieron Sandra Díaz (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina), Sandra Lavorel (Laboratorio de Ecología Alpina en Grenoble, Francia) y Mark Westoby (Universidad de Macquire en Sidney, Australia) el premio 'Fronteras del Conocimiento' en la categoría de 'Ecología y Biología de la Conservación' en 2021. Esta base de datos se basa en contribuciones voluntarias y solidarias de científicos y científicas de todo el mundo que luego puedan ser analizadas por otros investigadores acreditando a la base de datos y autores originales. Algunos de los artículos sobre patrones de diversidad funcional a nivel mundial más relevantes de la última década se han basado en los datos de *TRY* (p.ej.: Díaz *et al.*, 2016; Kattge *et al.*, 2020). Aunque muy exhaustiva y en continuo crecimiento, sigue habiendo importantes sesgos en las especies tratadas, con sobrerrepresentación de árboles y herbáceas sobre otros biotipos, especialmente aquellos con distribución en ámbitos templados. La base de datos *GIFT* (del inglés, Inventario Global de Flora y Rasgos) contiene información sobre más de 100 rasgos funcionales con la peculiaridad sobre *TRY* de que usa floras, listados y datos georreferenciados para definir la distribución de las especies en polígonos predefinidos que permiten un análisis espacial y biogeográfico de los datos (Weigelt *et al.*, 2020). Otras bases de datos son más especializadas, como por ejemplo *GrooT* que contiene ~120 000 registros sobre 38 rasgos funcionales radiculares a nivel mundial (Guerrero-Ramírez *et al.*, 2021). Una de las ventajas fundamentales

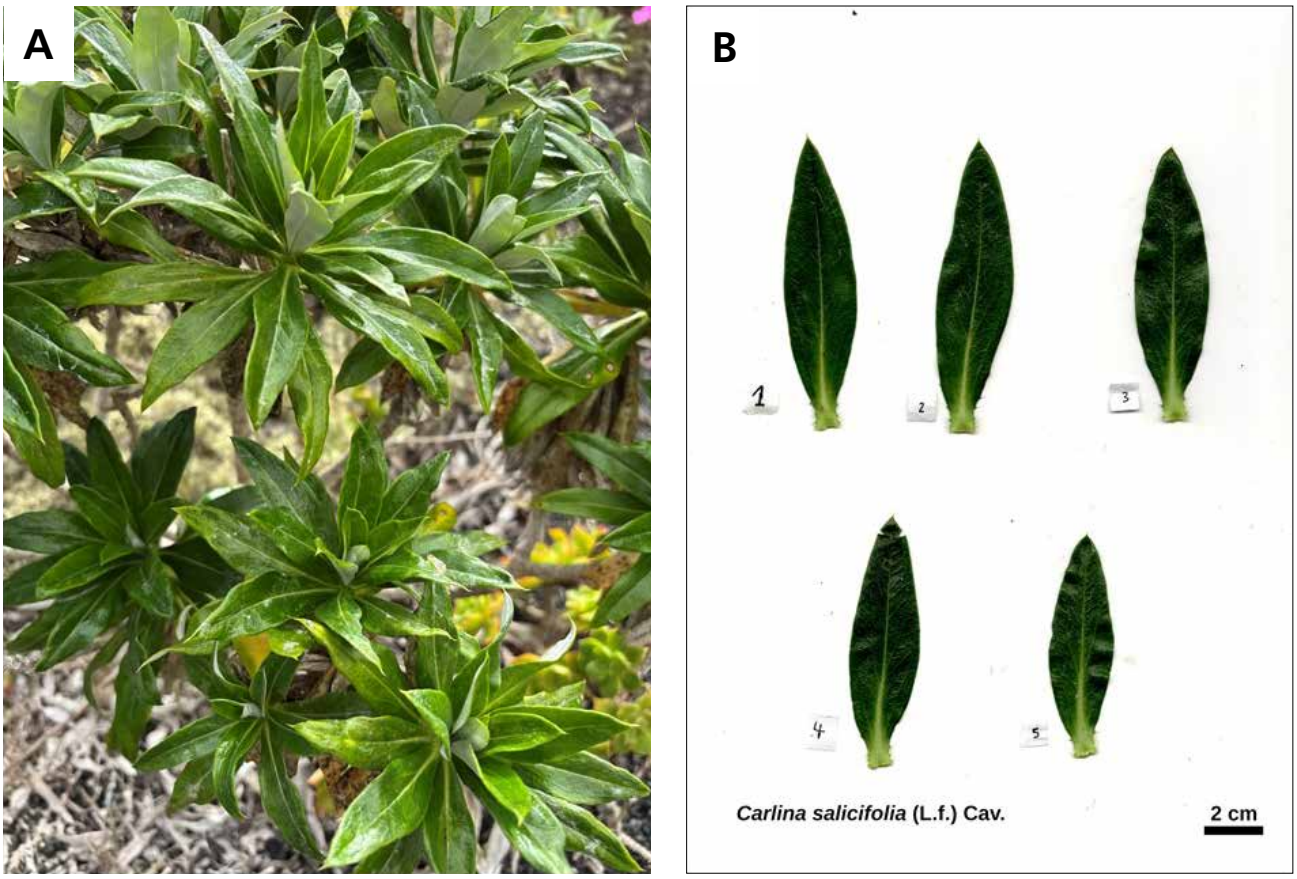


Figura 1: *Carlina salicifolia* (L.f.) Cav. en hábitat cerca de Haría, Lanzarote, un nano fanerófito que suele alcanzar el metro de altura (**A**). Hojas de la misma planta tras su escaneado en fresco. El uso de software especializado permite determinar con facilidad la superficie foliar usando estas imágenes (**B**).

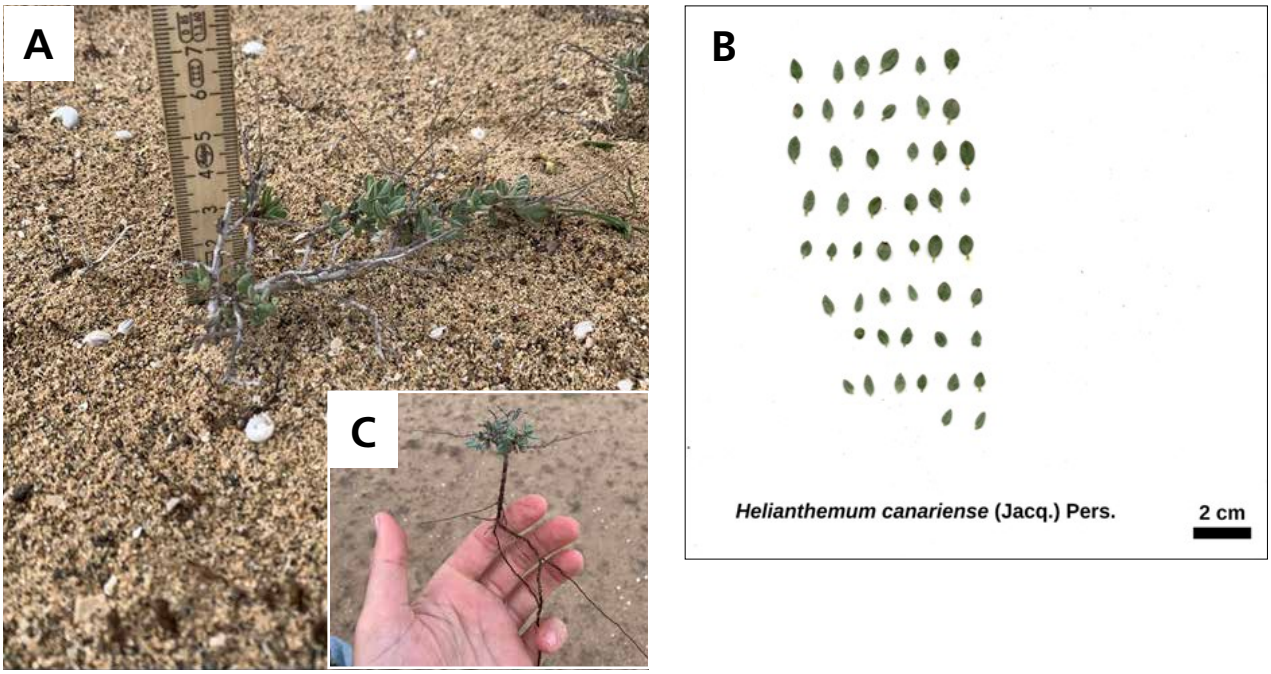


Figura 2: *Helianthemum canariense* (Jacq.) Pers. en hábitat en El Jable, Lanzarote, caméfito variable limitado por las condiciones del arenal (**A**). Hojas tras su escaneado en fresco (**B**). Sistema radicular más extenso que la propia planta en altura, evidenciando su importancia para esta especie (**C**).

de la disponibilidad abierta y gratuita de muchos de estos datos, es que nos permiten realizar análisis macroecológicos combinando esta información para conseguir una visión más holística de un grupo de especies o de las especies presentes en un territorio en concreto. Sobre todo al combinar esta información con datos de distribución, para las cuales existen en las islas Canarias multitud de opciones de calidad, podemos empezar a relacionar esta información con factores abióticos o biogeográficos que nos permitan discernir los mecanismos por los cuales distintas especies con historias evolutivas potencialmente muy distintas convergen en estrategias o rasgos funcionales similares o por el contrario son capaces de expresar estrategias completamente distintas en ambientes similares. Por ejemplo, el Gobierno de Canarias ha impulsado la plataforma BIOCAN (Biodiversidad Canaria), que incluye los bancos de datos: Biota, de biodiversidad, EXOS, de especies introducidas o Centinela, de especies protegidas, que contienen información espacial accesible sobre la mayoría de los taxones presentes en Canarias y sobre especies introducidas, respectivamente. Esta información puede ser combinada con otras fuentes como *iNaturalist*, *GBIF* o también *Observation.org* para tener una mejor perspectiva de la distribución de estas especies en el archipiélago. A esta información digitalizada podemos incluir datos sobre clima y bioclima (p. ej.: *CanaryClim*, con gran resolución espacial en celdas de 100 x 100 m y otras alternativas con menor resolución, (Patiño *et al.*, 2023) además de otras métricas extraíbles gracias a los recursos disponibles por portales como GRAFCAN (Cartográfica de Canarias, S.A.) en donde se recoge información sobre usos del suelo, vegetación potencial o actual y características edáficas y geológicas del territorio. Nunca ha sido, por tanto, tan fácil tener a nuestra disposición tal cantidad de información sobre las características abióticas y bióticas de un territorio.

Las islas Canarias, un archipiélago predestinado para estudios ecológicos

Canarias, con su interesantísima flora y diversidad ambiental además de sus diversos recursos digitales modernos y una larga trayectoria de investigación naturalista, nos proporciona uno de los mejores archipiélagos a nivel mundial para estudiar los efectos de la insularidad sobre la ecología funcional. El Archipiélago alberga una flora compuesta de alrededor de unas 2500 especies de plantas vasculares, de las cuales se considera que alrededor de 900 son nativas seguras y alrededor de 150 introducidas invasoras (Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias, Gobierno de Canarias, https://www.biodiversidadcanarias.es/biota, 2025). La composición biogeográfica de la flora también es sumamente particular. Combina tres elementos principales: la paleoflora de la antigua cuenca del mar del Tethys, a la que pertenecen muchos elementos del Monteverde canario caracterizado por la clase fitosociológica Pruno-Lauretea, elementos de la Rand Flora africana compuesta por géneros como *Dracaena, Gymnosporia* o *Hypericum* y elementos más modernos de flora mediterránea, como muchos de los elementos termomediterráneos entre los que se destacan géneros como *Pistacia, Juniperus* u *Olea*. A estos tres elementos acompañan las numerosas especies neoendémicas que se han originado en las islas pertenecientes a géneros como *Echium*, *Argyranthemum* o *Aeonium* (Fernández-Palacios *et al.*, 2024). Las islas no son sólo en su dimensión biótica sumamente interesantes sino también en sus características abióticas. El bioclima es mediterráneo oceánico, con una rígida sequía estival exclusivamente suavizada en las cotas en las cuales los vientos alisios, predominantes durante todo el año y especialmente en verano, suministran humedad mediante nubes de tipo cúmulos. Especialmente las islas con mayor relieve tienen una gran diversidad de pisos bioclimáticos manifestados en la combinación de termotipos que van desde el inframediterráneo inferior en las zonas más cálidas hasta el oromediterráneo superior en el cono del Teide, a 3718 m s. n. m. en la isla de Tenerife. En términos de precipitación la amplitud también es considerable, teniendo focos locales de ombrotipo hiperárido hasta zonas húmedas e hiper húmedas en las islas con mayor relieve. Las precipitaciones también siguen un gradiente longitudinal este – oeste,

presentando las islas orientales, Fuerteventura y Lanzarote (unidas en una sola durante el último máximo glacial) una mayor aridez que las occidentales. Geológicamente el Archipiélago también es sumamente interesante, con 7 islas mayores y numerosas islas menores e islotes que tienen edades desde los >20 Ma de Fuerteventura hasta <1 Ma de El Hierro y con actividad volcánica contemporánea como evidencian las erupciones del volcán Tagoro en 2011, en El Hierro, o en 2022 el volcán Tajogaite en La Palma. Por tanto, no es sorprendente que la disciplina de la biogeografía insular funcional concentre tantos esfuerzos y publicaciones académicas en este Archipiélago y que atraiga a las islas cada año a multitud de investigadores e investigadoras de todas las partes del mundo.

Perspectivas científicas de nuestro proyecto en las islas Canarias

Es por tanto que estamos trabajando en recopilar información de rasgos funcionales sobre el mayor número posible de especies de la flora nativa de las islas Canarias, sumando así al gran esfuerzo por parte de muchos grupos de investigación locales, nacionales e internacionales por recabar este tipo de información. Un proyecto de colaboración particularmente exitoso desembocó en la publicación de la primera caracterización de la diversidad funcional de la flora nativa de una isla oceánica, Tenerife, en 2023 (Barajas Barbosa *et al.*, 2023). Basándonos en ese trabajo y reconociendo la importancia de crear vínculos duraderos internacionales de investigación para el estudio de la flora canaria, estamos ahora embarcados en la misión de recabar información de rasgos funcionales para los taxones nativos del resto de islas del archipiélago, con lo cual, esperamos llevar a cabo un análisis exhaustivo sobre lo que podemos aprender mediante el análisis del Archipiélago en su conjunto frente al análisis de las islas constituyentes de manera independiente, valorando las características individuales de cada una como factores que influyen directamente en la composición funcional de su flora. Además, disponer de estos datos es especialmente relevante para entender cómo estos rasgos han influido y a su vez han sido alterados, por los procesos evolutivos y de dispersión que han dado pie a las especies endémicas del Archipiélago.

También pretendemos incorporar el análisis de la flora introducida para medir su contribución e impacto sobre la diversidad funcional de la flora, especialmente comparada con la de la flora endémica amenazada. Este ámbito de estudio es de sumo interés para la conservación y el ámbito de la ecología funcional. Darwin ya postuló en el siglo XIX dos hipótesis a primera vista contradictorias: por un lado, las plantas introducidas deben de tener caracteres funcionales similares a las nativas dado que están sometidas a un marco de condiciones abióticas similares, es decir, tienen que pasar por los mismos filtros ambientales, pero por el otro, los caracteres funcionales han de diferir para minimizar la competencia directa con las especies nativas y poder colonizar nuevos nichos. A estas hipótesis contrapuestas se las denomina comúnmente como "problema de naturalización de Darwin" y atestiguan la complejidad y dificultad de encontrar patrones claros que expliquen por qué algunas especies se naturalizan exitosamente mientras otras no. Estudios previos han determinado que las introducidas invasoras presentan caracteres funcionales asociados a estrategias basadas en el crecimiento rápido y en la adquisición de recursos, comparada con especies nativas (Van Kleunen *et al.*, 2010). La flora introducida expande la diversidad funcional de las islas Canarias, es decir, que sus caracteres presentan valores no representados por las nativas (Hanz *et al.*, 2022). Además, las especies introducidas se benefician de manera desproporcionada de la falta de enemigos naturales a la hora de aprovechar una mayor disponibilidad de recursos por la alteración antrópica de los hábitats (Blumenthal, 2005). Un gran estudio reciente en el Archipiélago analizando este problema para la familia *Asteraceae* encontró que las invasoras son más funcionalmente similares, pero están más distantemente relacionadas con las nativas que las introducidas no invasoras (Arjona *et al*., 2025). Por tanto, queremos comparar los rasgos funcionales de las invasoras expresadas como tal por la Base de Datos de Biodiversidad de Canarias con los de las especies nativas al nivel del Archipiélago, para analizar cuál de las postulaciones de Darwin mejor explican los patrones que observamos a nivel regional, comparar estos resultados con investigaciones previas en Canarias y otros archipiélagos y ver si hay patrones funcionales que nos permitan reconocer de forma precoz a futuras especies potencialmente invasoras. A su vez contemplaremos cómo la pérdida de especies amenazadas puede alterar la diversidad funcional de la flora para en última instancia, reconocer a aquellas especies cuya pérdida pudiese tener un impacto sobre proporcional en esta dimensión de la biodiversidad canaria.

Qué es lo queremos medir y porqué es importante

Hay ciertos caracteres que están mejor representados en la literatura y que han sido identificados como relevantes para explicar importantes ejes de variabilidad en las estrategias que adoptan las plantas (Laughlin, 2023). Entre ellos destaca el área foliar específica, que es la superficie de una hoja recién recolectada dividida por su peso en seco. Especies con altos valores suelen presentar estrategias más adquisitivas, con tejidos menos longevos, mientras aquellas que crecen lentamente y tienen tejidos más costosos de producir suelen presentar valores más bajos. Para ambientes áridos el contenido en materia seca de la hoja, obtenido mediante la división del peso fresco con el peso tras la deshidratación, es importante, dado que plantas en ambientes más áridos suelen tener mayores valores, lo que suele favorecer una mayor resistencia a la sequía. También la altura de una planta es fundamental para factores como la capacidad dispersora, especialmente cuando se combina con el peso en seco de las semillas, dado que numerosos estudios indican que las especies más altas suelen dispersar sus propágulos, lógicamente, a mayor distancia. La densidad del tallo, medida como peso en seco de una sección dividida por su volumen, nos indica la inversión de la planta en tejidos de sustentación estructurales y sirve para transformar a una escala continua el gradiente que abarca categorías como "herbácea" o "leñosa".

Estos y otros caracteres adicionales, especialmente aquellos presentes en Barajas-Barbosa *et al.* (2023) (Tabla 1), son los que hemos marcado como objetivos prioritarios. Proyectos futuros podrán usar este trabajo como base para explorar dimensiones adicionales como son las referidas al sistema radicular, clave en explicar las adaptaciones al medio terrestre (Fig. 2), y las variadas estrategias reproductivas. Queda "por tanto" aún mucho por hacer y por estudiar en las islas Canarias desde el ámbito de la ecología funcional para tener una visión holística de las estrategias de las plantas nativas e invasoras del Archipiélago.

Agradecimientos

Agradecemos a las personas que forman parte de esta colaboración internacional: Dr. José María Fernández-Palacios, Dr. Holger Kreft, Dr. Severin Irl, Dr. Juli Caujapé Castells, Dr. Jairo Patiño, Dra. Paola Barajas-Barbosa, Dra. Ruth Jaén Molina, Dra. Nathaly Guerrero-Ramírez y Dra. Sarah Sophie-Weil. Especialmente agradecido a Claudia Luis Monroy, Julie Besnard y Maddalena Bentivoglio, que han colaborado en la labor de campo y laboratorio. Además de a todo el personal Jardín Botánico Canario "Viera y Clavijo"-UA de I+D+i - CSIC, el Grupo de Ecología y Evolución en Islas del IPNA-CSIC y del Área de Conocimiento de Ecología de la Universidad de La Laguna. Por último, agradecer a los revisores de este artículo que han contribuido a mejorar su calidad de manera sustancial.

Tabla 1. Listado de los rasgos funcionales principales que analizaremos en este proyecto junto con un resumen de su relevancia ecológica y modo de medida según Pérez-Harguindeguy *et al*., (2013).

Rasgo funcional	Relevancia	Método de medida
Área foliar	Negativamente relacionado con estrés. Determinante en la capacidad fotosintética y de transpiración de la planta.	Superficie foliar de una hoja en fresco (mm^2). Medida p.ej. con software como R, ImageJ o WinFolia usando imágenes calibradas.
Área foliar especifica	Positivamente relacionado con la tasa de crecimiento, y ambientes ricos en recursos. Relación negativa con la longevidad foliar.	Área foliar de una hoja dividida por su peso una vez desecada (mm^2/mg). Se especifica si se incluyen raquis/pecíolos o no.
Contenido en materia seca de la hoja	Correlación positiva con la longevidad de la hoja, resistencia al viento, sequía o herbívoros. Valores bajos suelen indicar un crecimiento más rápido.	Peso de la hoja tras ser desecada (en mg) dividido por el peso en fresco de la hoja (en g).
Altura de la planta	Correlación positiva con capacidad dispersora, longevidad y capacidad competitiva.	Altura de la planta (m) desde la base hasta el punto más alto. Sin contar las inflorescencias.
Masa de las semillas	Relacionada con la capacidad de dispersión y positivamente con la tasa de supervivencia de los brinzales. Valores más bajos pueden indicar una mayor longevidad en el banco de semillas.	Peso en seco de las semillas (mg).
Densidad del tallo	Importancia para la estabilidad estructural, hidráulica. Valores altos indican una mayor longevidad de la planta. Influenciado por el tamaño de los capilares hidráulicos.	Volumen estimado geométricamente de un trozo de tallo (cm^3) dividido por su peso en seco (g).
Concentración de nitrógeno foliar	Relación positiva con tasa fotosintética máxima y SLA. Valores altos también relacionados con alta palatabilidad para herbívoros.	Concentración de nitrógeno de una hoja seca y pulverizada (%) estimada con un espectrómetro de masas.
Grosor foliar	Suele ser mayor en ambientes xéricos o poco fértiles, y en hojas más longevas. Suele ser mediado por un aumento del grosor del tejido mesófilo.	Grosor medio de la hoja (mm) medida en fresco en tres puntos y evitando el raquis central.

Bibliografía

- Arjona, Y., Jay-Garcia, L. S., Reyes-Betancort, J. A., Morente-Lopez, J., Salas-Pascual, M., Naranjo-Cigala, A., …& Patiño, J(2025). Taming Darwin's conundrum: On the role of phylogenetic and functional differentiation in plant naturalization on oceanic islands (p. 2025.04.09.648018). bioRxiv. https://doi.org/10.1101/2025.04.09.648018
- Barajas Barbosa, M.P., Craven, D., Weigelt, P., Denelle, P., Otto, R., Diaz, S., … & Kreft, H. (2023). Assembly of functional diversity in an oceanic island flora. *Nature* 619, 545–550. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06305-z
- Blumenthal, D. (2005). Interrelated Causes of Plant Invasion. *Science*, *310*(5746), 243-244. https://doi.org/10.1126/science.1114851
- Diaz, S., Kattge, J., Cornelissen, J. H. C., Wright, I. J., Lavorel, S., Dray, S., …& Gorne, L. D. (2016). The global spectrum of plant form and function. *Nature*, *529*(7585), 167-171. https://doi.org/10.1038/nature16489
- Fernández-Palacios, J.M., Otto, R., Capelo, J., Caujapé-Castells, J., Nascimento, L., Duarte, M.C., … & Whittaker, R.J. (2024). In defence of the entity of Macaronesia as a biogeographical region. *Biological Reviews*, *99*(6), 2060-2081. https://doi.org/10.1111/brv.13112
- Guerrero-Ramirez, N. R., Mommer, L., Freschet, G.T., Iversen, C. M., McCormack, M. L., Kattge, J., …& Weigelt, A. (2021). Global root traits (GRooT) database. *Global Ecology and Biogeography*, *30*(1), 25-37. https://doi.org/10.1111/geb.13179
- Hanz, D. M., Cutts, V., Barajas-Barbosa, M. P., Algar, A. C., Beierkuhnlein, C., Fernandez-Palacios, J.-M., …& Irl, S. D. H. (2022). Climatic and biogeographical drivers of functional diversity in the flora of the Canary Islands. *Global Ecology and Biogeography*, *31*(7), 1313-1331. https://doi.org/10.1111/geb.13507
- Kattge, J., Bonisch, G., Diaz, S., Lavorel, S., Prentice, I. C., Leadley, P., … & Wirth, C. (2020). TRY plant trait database – enhanced coverage and open access. *Global Change Biology*, *26*(1), 119-188. https://doi.org/10.1111/gcb.14904
- Laughlin, D. C. (2023). *Plant Strategies: The Demographic Consequences of Functional Traits in Changing Environments*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780192867940.001.0001
- Lems, K. (1961). Botanical Notes on the Canary Islands. III. The Life Form Spectrum and Its Interpretation. *Ecology*, *42*(3), 569-572. https://doi.org/10.2307/1932243.
- Patiño, J., Collart, F., Vanderpoorten, A., Martin-Esquivel, J. L., Naranjo-Cigala, A., Mirolo, S., & Karger, D. N. (2023). Spatial resolution impacts projected plant responses to climate change on topographically complex islands. *Diversity and Distributions*, 29, 1245–1262. https://doi.org/10.1111/ddi.13757
- Perez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P, … & Cornelissen, J. H. C. (2013). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, *61*(3), 167. https://doi.org/10.1071/BT12225
- Raunkiær, C. (1934). *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography Being the Collected Papers of C. Raunkiaer*. Oxford at the Clarendon Press.
- Van Kleunen, M., Weber, E., & Fischer, M. (2010). A meta-analysis of trait differences between invasive and non-invasive plant species. *Ecology Letters*, *13*(2), 235-245. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01418.x
- Violle, C., Navas, M.-L., Vile, D., Kazakou, E., Fortunel, C., Hummel, I., & Garnier, E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos*, *116*(5), 882-892. https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x
- Weigelt, P., König, C., & Kreft, H. (2020). GIFT – A Global Inventory of Floras and Traits for macroecology and biogeography. *Journal of Biogeography*, *47*(1), 16-43. https://doi.org/10.1111/jbi.13623