

El papel de la Red Andaluza de Jardines Botánicos (RED) en la investigación sobre biodiversidad en Andalucía

DOI: 10.15366/cv2022.26.001

The role of the Andalusian Network of Botanic Gardens (RED) on biodiversity research in Andalusia

ALEJANDRA DE CASTRO¹, ZARA RICHES¹, MARÍA JESÚS ARIZA², JOSÉ CARLOS DEL VALLE¹, JOSÉ LUIS SILVA¹, LAURA PLAZA³, ANTONIO RIVAS³, CARMEN RODRÍGUEZ-HIRALDO³, JUAN LORITE⁴, MARCIAL ESCUDERO¹, JUAN VIRUEL⁵, MONTSERRAT ARISTA¹ * y JUAN ARROYO¹ *

1. Depto. de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla
2. Servicio General de Investigación de Herbario, Universidad de Sevilla
3. Red Andaluza de Jardines Botánicos y Micológico, Junta de Andalucía.
4. Depto. de Botánica, Universidad de Granada
5. Royal Botanic Gardens, Kew, Reino Unido

* Autores para la correspondencia: Montserrat Arista marista@us.es; Juan Arroyo arroyo@us.es

Resumen / Abstract

En Andalucía se realizan diversas actuaciones para la catalogación y conservación de la biodiversidad por parte del gobierno autonómico. Con respecto a las plantas, es notable la creación de una red de Jardines Botánicos asociados a espacios naturales protegidos. Estos jardines y áreas protegidas contienen una buena representación de la flora y de las especies amenazadas andaluzas, lo que supone un gran potencial para la investigación en biodiversidad. En este artículo se exploran las posibilidades que ofrecen estos jardines, dirigidas hacia la investigación y se muestran algunos resultados obtenidos. Estas investigaciones se dirigen por un lado hacia el pasado histórico que ha generado la actual diversidad evolutiva (filogenética) de la flora leñosa usando marcadores genéticos y genómicos. Por otro lado, la representación de flora amenazada en los jardines ha permitido conocer también su nivel de singularidad filogenética y compararla con su rareza basada en aspectos biogeográficos y ecológicos. Los Jardines Botánicos han proporcionado gran parte de las muestras de tejido vegetal para la extracción de ADN necesario para resolver las filogenias. Finalmente, se exponen posibilidades futuras de investigación para prevenir los efectos del cambio climático en los sistemas naturales de Andalucía, usando los jardines como estaciones de observación fenológica. La información sobre el pasado evolutivo es muy relevante para determinar su influencia en la respuesta de las plantas a los cambios que ya están aconteciendo.

The regional government of Andalusia has developed several actions to catalog and conserve biodiversity. Focusing on plants, a remarkable action is the setting of a network of botanic gardens linked to protected natural areas. These gardens and protected areas contain a good representation of the flora and of endangered plant species of Andalusia, which represent a great potential for biodiversity research. This paper explores possibilities offered by these gardens for this research and shows some results obtained. First, these investigations focus on the historical past which determined the current evolutionary (phylogenetic) diversity of the woody flora by using genetic and genomic markers. Second, the representation of threatened flora in the gardens has allowed us to know their phylogenetic distinctness and to compare it with their rarity based on biogeographical and ecological aspects. Botanic gardens have supplied most of the samples for DNA extraction to resolve these phylogenies. Finally, future research possibilities to know the effects of climate change on the natural systems of Andalusia are presented, using the gardens as phenological observation stations. The information on evolutionary past will be very relevant to ascertain its influence on the plant response to current and future climate changes.

Palabras clave / Keywords

áreas protegidas, biogeografía, especies amenazadas, rareza, singularidad filogenética.

protected areas, biogeography, threatened species, rarity, phylogenetic distinctness.

Los Jardines Botánicos de la RED en Andalucía: historia y futuro

La Red Andaluza de Jardines Botánicos y Micológicos en Espacios Naturales (en adelante RED) se creó en 2001 con el objetivo de promover en esos espacios naturales protegidos la conservación de la biodiversidad, la educación para la conservación y la difusión fitoturística. En el año 2001 la RED estaba constituida por siete colecciones vivas de flora autóctona repartidas por diversos espacios naturales protegidos de Andalucía (El Albardinal, Umbría la Virgen, El Castillejo, San Fernando, La Cortijuela, El Robledo y Torre del Vinagre). Con estas colecciones como punto de partida, el objetivo fue ampliar su ámbito de representación

para que abarcara también al Sector Biogeográfico en que se encontraban ubicados, así como dotarlos de las infraestructuras necesarias para abordar los programas de trabajo planteados y ampliar el número de colecciones hasta representar toda la flora de interés de Andalucía. En 2007 se incorporó el Jardín Botánico El Aljibe (Cádiz), en 2008 el Jardín Botánico Hoya de Pedraza (Granada), en 2009 Dunas del Odiel (Huelva) y en 2011 La Trufa (Córdoba). El último equipamiento que se ha incorporado a la RED es el Jardín Detunda-Cueva de Nerja (Málaga) en 2015. Por otra parte, en 2021 el Jardín Botánico La Cortijuela ha pasado a considerarse Sendero Botánico, siendo actualmente 11, los Jardines que componen la RED (Fig. 1).

Tabla 1. Relación de Jardines Botánicos de la Red Andaluza de Jardines Botánicos y Micológicos en Espacios Naturales (RED) protegidos que (1) cuentan con remanentes de vegetación natural y (2) han sido objeto de restauraciones o de recreaciones de la vegetación natural indicando el espacio natural protegido (ENP) en el que se encuentran y el sector biogeográfico (SB) que representan.

JARDÍN	MUNICIPIO	ENP	SB
Umbria de la Virgen ¹	María (Almería)	Parque Natural Sierra María-Los Vélez	Guadiciano-Bacense y Manchego
Dunas del Odiel ¹	Palos de la Frontera (Huelva)	Paraje Natural Lagunas de Palos y las Madres	Onubense y Algarviense
El Castillejo ¹	El Bosque (Cádiz)	Parque Natural Sierra de Grazalema	Rondeño
Hoya de Pedraza ¹	Monachil (Granada)	Espacio Natural Sierra Nevada	Nevadense y Alpujarreño-Gadoreense
El Albardinal ²	Rodalquilar - Níjar (Almería)	Parque Natural Cabo de Gata-Níjar	Almeriense
El Aljibe ²	Alcalá de los Gazules (Cádiz)	Parque Natural Los Alcornocales	Aljibico
San Fernando ²	San Fernando (Cádiz)	Parque Natural Bahía de Cádiz	Gaditano
Torre del Vinagre ²	Coto Ríos (Jaén)	Parque Natural de la Sierra de Cazorla, Segura y Las Villas	Subbético
El Robledo ²	Constantina (Sevilla)	Parque Natural Sierra Norte de Sevilla	Mariánico-Monchiquense
Detunda-Cueva de Nerja ²	Nerja (Málaga)	Parque Natural Sierras de Tejeda, Almijara y Alhama	Malacitano-Almijareense
La Trufa ²	Zagrilla (Córdoba)	Parque Natural Sierras Subbéticas	Todos (Regional)

Los Jardines Botánicos de la RED y la singularidad de la flora andaluza

En la actualidad se está desarrollando un programa de investigación que aborda la determinación de la singularidad filogenética y genética de la flora andaluza desde el nivel florístico al poblacional, así como sus correlatos biológicos y evolutivos. Los objetivos principales de este estudio se centran en la flora vascular autóctona y la flora amenazada de Andalucía y la de ENP, así como en sus comunidades vegetales. Por sus propias características, los estudios de estas especies deben ser especialmente cautelosos en la obtención de muestras vegetales para no agravar su estado de amenaza mediante muestreos agresivos. Por ello, las colecciones vivas (sean plantas establecidas en suelo, con regeneración propia, o propágulos como semillas, plántulas, etc.) de los Jardines Botánicos están siendo fundamentales para el desarrollo de este proyecto, cuyos resultados cumplirán un objetivo inicial de investigación básica, pero con consecuencias aplicadas para la gestión en un futuro inmediato. Esas colecciones están perfectamente identificadas y su origen puede ser trazado, contando con los oportunos registros en las colecciones botánicas de referencia (herbarios oficiales).

La singularidad evolutiva de la flora leñosa de los Parques Nacionales andaluces

En proyectos anteriores se ha podido determinar la singularidad evolutiva (diversidad filogenética) de gran parte de la flora andaluza usando bases de datos públicas de secuencias de ADN para elaborar una filogenia de la flora andaluza y la del Rif, en Marruecos, ya que esta última pertenece al mismo punto caliente de biodiversidad vegetal. La resolución de las relaciones filogenéticas no pudo pasar del nivel de género (Molina-Venegas *et al.*, 2015) debido a la escasa representación de especies de la flora andaluza en las bases de datos entonces disponibles y al limitado número y tipo de marcadores moleculares usados. Por ello, el proyecto en curso está desarrollando muchos marcadores repartidos por todo el ge-

noma; ("Angiosperms353"; Baker *et al.*, 2021) con material vegetal obtenido directamente de las colecciones vivas de los Jardines Botánicos o en el medio natural, que permitirá cuantificar de forma robusta la diversidad genética y la singularidad filogenética de las especies. Ampliar el muestreo de especies y el número de marcadores para llegar al nivel genómico implica un gran esfuerzo económico y de trabajo. Los tres Parques Nacionales contienen en su flora leñosa 672 especies o subespecies (73,3% de la flora leñosa de Andalucía, a partir de datos de Cueto *et al.*, 2018). De estas especies, hasta ahora hemos secuenciado 291 (43,3%; datos inéditos propios). Esta muestra está tomada al azar y debe ser representativa de la flora leñosa de los Parques Nacionales y de Andalucía.

Mientras se consigue el objetivo a más largo plazo de secuenciar toda la flora andaluza, las especies leñosas representan un subconjunto importante de la flora vascular nativa de Andalucía (23,2% de especies y subespecies; Cueto *et al.*, 2018), con gran importancia en el paisaje y las comunidades vegetales donde habitan. Son la elección preferida para análisis filoflorísticos (filogenias de conjuntos florísticos, desde comunidades a floras completas) iniciales. Estas especies muestran características funcionales definidas y en nuestra flora representan un elevado nivel de diversidad a todas las escalas (taxonómica, ecológica, biogeográfica, evolutiva; Herrera, 1992; Verdú & Pausas, 2007).

Son asimismo de interés las especies endémicas, sobre todo porque son clave para determinar que una región sea considerada como "punto caliente" de biodiversidad. La flora vascular nativa de Andalucía contiene un 11,7% de taxones endémicos, idéntico al porcentaje de endemismos en nuestra muestra de plantas leñosas de Parques Nacionales y similar al de la flora leñosa completa de los tres Parques Nacionales (13,9%, con los criterios de Cueto *et al.*, 2018). Por ello una filogenia genómica basada en esta muestra de taxones leñosos de Parques Nacionales de Andalucía (Fig. 2) puede pro-

porcionar una idea realista de ciertos patrones evolutivos. Podemos destacar que en ella están representados buena parte de los grupos principales (órdenes) de angiospermas, por lo que dicha flora representa bien la historia evolutiva profunda de los principales linajes de las plantas con flores y frutos de la Tierra. En dicha filogenia también puede observarse que las especies endémicas (en naranja) están repartidas azarosamente en los diferentes clados, es decir, no presentan en esta muestra florística señal filogenética pues no están muy relacionadas filogenéticamente sino que tienden a estar en linajes diferentes (ver Cuadro 1 en página 13).

En el árbol filogenético obtenido (Fig. 2) se puede observar que las especies endémicas aparecen tanto al final de ramas cortas como largas. No parece haber un filtro geográfico, ambiental o temporal para las especies endémicas en esas zonas. La sobredispersión filogenética del endemismo (distribución preferente en clados alejados en la filogenia; Cuadro 1) puede ser particular de zonas de cierto nivel de riqueza florística y de conservación como son los Parques Nacionales, lo que sólo quedará de manifiesto cuando esté disponible un análisis filoflorístico completo al nivel regional. En la actualidad se está comprobando qué nivel de diversidad, en

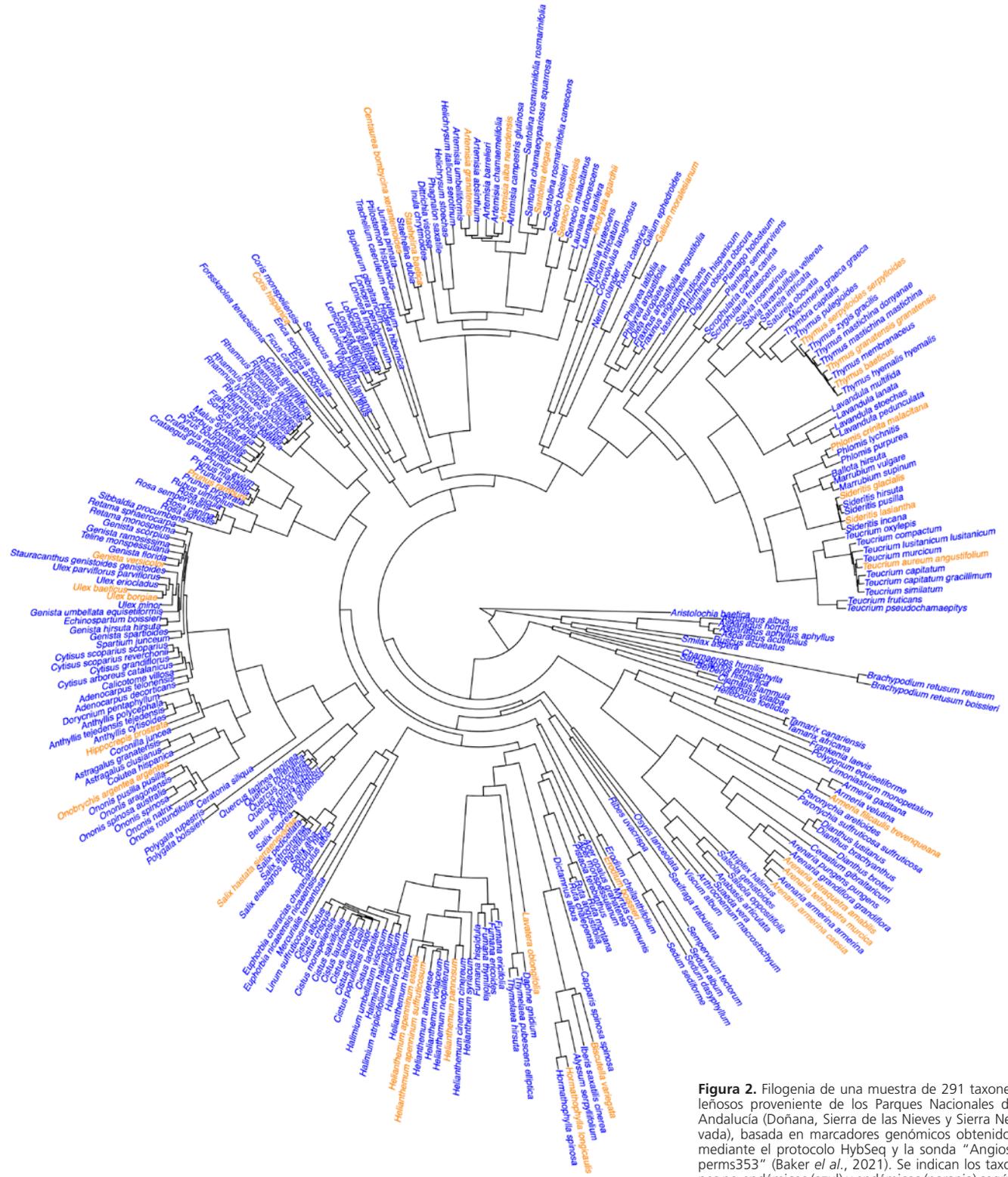


Figura 2. Filogenia de una muestra de 291 taxones leñosos proveniente de los Parques Nacionales de Andalucía (Doñana, Sierra de las Nieves y Sierra Nevada), basada en marcadores genómicos obtenidos mediante el protocolo HybSeq y la sonda “Angiosperms353” (Baker *et al.*, 2021). Se indican los taxones no-endémicos (azul) y endémicos (naranja) según Cueto *et al.*, (2018).

distintos componentes históricos y biogeográficos, está representado dentro de cada Parque Nacional en relación con la flora vascular andaluza completa.

La singularidad filogenética y la rareza de la flora amenazada de Andalucía

La rareza biológica es un concepto que ha atraído a los naturalistas y al público interesado en los valores naturales desde antiguo. Desde el Renacimiento, fue uno de los motivos por el que las clases sociales económica y culturalmente poderosas organizaron viajes exploratorios para incrementar las colecciones de historia natural. Más recientemente, el concepto de rareza ha generado debate, tanto desde el punto de vista de su origen y mantenimiento, como el de representar un valor añadido a la biodiversidad, en especial para la conservación (Rabinowitz, 1981). Si una especie rara se extingue, lo cual es más probable que en una especie común, se pierde una historia ecológica y evolutiva irre recuperable. Rabinowitz (1981) definió siete combinaciones posibles de rareza según características biogeográficas y ecológicas binarias de las especies: (1) amplitud de la distribución geográfica, (2) tamaño y densidad poblacional y (3) especificidad del hábitat, en función de las cuales una especie puede ser rara en uno o más aspectos. Esta propuesta se puede aplicar a cualquier conjunto de especies, desde floras completas a comunidades locales o a listas de especial interés. Desde esa propuesta se han ido considerando cada vez más los aspectos históricos y evolutivos en la rareza de las especies (Miranda Cebrián *et al.*, 2022). Esto obedece a una doble razón. Primero, porque cualquier rasgo ecológico o funcional de una especie suele tener un componente histórico (filogenético) en diversa medida y, segundo, porque una especie singular filogenéticamente, es decir, con pocos parientes próximos vivos, representa una larga línea evolutiva cuya pérdida es aún más irreparable, como brillantemente expuso May (1990), uno de los principales ecólogos del s. XX.

Las especies amenazadas son raras por uno o más de los componentes definidos por Rabinowitz (1981). El catálogo de especies amenazadas de Andalucía (Decreto 23/2012 de la Junta de Andalucía) incluye 272 especies vasculares y 28 subespecies, que vienen siendo objeto de diversos estudios y seguimientos y en algunos casos han sido sujetos de planes de recuperación. Ello ha proporcionado una buena cantidad de datos que permiten hacernos una idea de cuán singulares son estas especies desde un punto de vista ecológico o de su distribución. Esto ya se ha hecho para especies amenazadas en otras regiones (Médail & Verlaque, 1997). Hoy ya es posible determinar el grado de singularidad evolutiva o filogenética de estas especies, para ser incluido como un componente más de rareza (Miranda Cebrián *et al.*, 2022). Además esto permite conocer la señal filogenética de la rareza ecológica.

A partir de la información disponible en los planes de seguimiento y de recuperación de las especies amenazadas

realizados por los Jardines Botánicos de la RED y de información contenida en publicaciones, pudo determinarse el nivel de rareza de cada una de las especies amenazadas y asignarle alguna de las categorías de Rabinowitz (1981) y sus frecuencias (Riches, 2021; Tabla 2). En general puede decirse que entre las especies amenazadas la mayoría muestran alguna situación de rareza, ya que sólo el 5,5% presentan la combinación de no-rareza para los tres componentes de Rabinowitz. La rareza es debida sobre todo al tamaño poblacional pequeño (73,0% de las especies) y a la distribución geográfica restringida (60,7%). Ambos factores son muy importantes al declarar una especie como amenazada, como es esperable. De menor importancia relativa es la especificidad del hábitat (49,3%), aunque también es cierto que la determinación de este factor es más compleja.

Para determinar el nivel de singularidad, diferenciación o rareza evolutiva de las especies se ha resuelto la filogenia de las especies vasculares de Andalucía a partir de secuencias de ADN disponibles en repositorios (Cuadro 1). A partir del árbol filogenético obtenido se han marcado las especies amenazadas, para poder estimar su diferenciación evolutiva (*D*, *evolutionary distinctiveness*; Fritz & Purvis, 2010) cuyo valor promediado y asociado a las clases de Rabinowitz aparece en la Tabla 2. Es interesante resaltar que los taxones considerados como amenazados no tienen señal filogenética, es decir, están repartidos por todos los grandes clados del árbol filogenético de la flora andaluza (Cuadro 1). Por ejemplo, es interesante resaltar que las especies de distribución amplia tienden a tener valores elevados de *D* (promedio de 34,4), en comparación con las restringidas (promedio de 9,1; Tabla 2). Es decir, aquellas especies más antiguas y singulares evolutivamente, en parte lo son porque han tenido mucho más tiempo para expandir su distribución o al menos quedan remanentes relictos en amplios rangos geográficos.

Tabla 2. Componentes de rareza de Rabinowitz (1981) en la flora vascular amenazada de Andalucía. Se incluye el número de taxones de cada categoría y el porcentaje que representa del total de taxones amenazados. Para cada categoría se incluye también en negrita el promedio de la diferenciación evolutiva (*D* de Fritz & Purvis, 2010), que consiste en la cantidad de tiempo en millones de años que una especie ha evolucionado de manera independiente de su especie hermana o clado hermano.

<i>Distribución geográfica</i>	Amplia		Estrecha	
	Amplia	Estrecha	Amplia	Estrecha
<i>Especificidad del Hábitat</i>				
<i>Tamaño Poblacional Grande</i>	16 (5,5%) 29,68	10 (3,7%) 33,00	19 (7,0%) 13,21	28 (10,4%) 6,40
<i>Tamaño Poblacional Pequeño</i>	42 (15,6%) 24,68	38 (14,1%) 50,10	60 (22,2%) 6,95	57 (21,1%) 9,76

Usos futuros de los Jardines Botánicos de la RED en un escenario de cambio global

Los resultados anteriores muestran hasta qué punto las colecciones de plantas de los Jardines Botánicos pueden servir para resolver cuestiones retrospectivas. Sin embargo, también son muy útiles prospectivamente, especialmente para estudiar cómo pueden responder las plantas a los cambios presentes y futuros. Así, los Jardines Botánicos de la RED se deben considerar como una infraestructura científica. Un uso especialmente prometedor es el de las plantas como monitores de cambio climático a través de su fenología, es decir, de los procesos biológicos estacionales. Los cambios fenológicos se han registrado durante siglos en las plantas cultiva-

das (Chuine *et al.*, 2004), ya que esta información permite tomar decisiones agronómicas y forestales. Estas series de datos tienen actualmente un gran valor ya que en algunas ocasiones son de época preindustrial, previa a la emisión desbocada de gases de efecto invernadero, por lo que permiten detectar patrones temporales relacionados con el cambio climático actual (Gordo & Sanz, 2009). Sin embargo, los datos procedentes de especies cultivadas no son extrapolables a las especies silvestres. Aunque ya existen algunas redes de seguimiento ecológico en áreas naturales que incluyen información fenológica (Schwartz & Reiter, 2000), este campo de investigación aún necesita mucho desarrollo. Las colecciones de plantas vivas de la RED, especialmente las perennes de larga vida, pueden servir para monitoreo a largo plazo.

Por otro lado, en aquellos Jardines Botánicos donde hay remanentes de vegetación natural es posible escalar los resultados al nivel de comunidad. Sabemos que distintas especies responden de forma diferente al cambio climático (Gordo & Sanz, 2009). Si las especies que interactúan en una comunidad cambian su fenología a ritmos diferentes, se puede producir un desacople entre ellas que afecte a su supervivencia (Renner & Zohner, 2018). En interacciones mutualistas como la polinización o la dispersión, ello puede tener consecuencias graves para la supervivencia de ambas partes de la interacción. El conocimiento de estas disrupciones es fundamental para prevenir la pérdida de biodiversidad, ya que las interacciones entre las especies forman parte indisoluble de la misma (Valiente-Banuet *et al.*, 2015).

Es relativamente fácil diseñar protocolos de seguimiento de estados fenológicos (fenofases) de las plantas, y de presencia y abundancia relativa de los animales con los que interactúan en los Jardines Botánicos, por ejemplo, insectos polinizadores, herbívoros y aves dispersoras. Al mismo tiempo, sería deseable contar con estaciones meteorológicas automatizadas en todos los jardines y también con una red de cámaras de secuen-

cias de imágenes ("time-lapse"), convenientemente situadas y equipadas ("fenocámaras"), para un seguimiento más automatizado, al menos para algunas fenofases, ya que su implementación cuenta con una sólida base técnica, incluso al nivel global (Brown *et al.*, 2016). Una red regional, en una zona de transición climática como Andalucía, más sensible a los efectos del cambio climático, sería especialmente bienvenida a escala global. Con la información filogenética y filogenómica disponible o en proceso de obtención, será posible determinar el papel de la historia en el comportamiento fenológico de las especies y prever qué grupos de plantas pueden ser más sensibles. Finalmente, dado que el elemento humano en un programa de este tipo es clave, es preciso mencionar que con la elevada implicación del personal técnico de los Jardines Botánicos se puede garantizar la necesaria continuidad de un proyecto de este tipo. Tanto los proyectos de singularidad filogenética y filogenómica de la flora, como este de respuesta fenológica al cambio climático, sirven para ilustrar la necesidad de contar con la historia evolutiva de la biota para explicar en parte su respuesta a las condiciones ambientales.

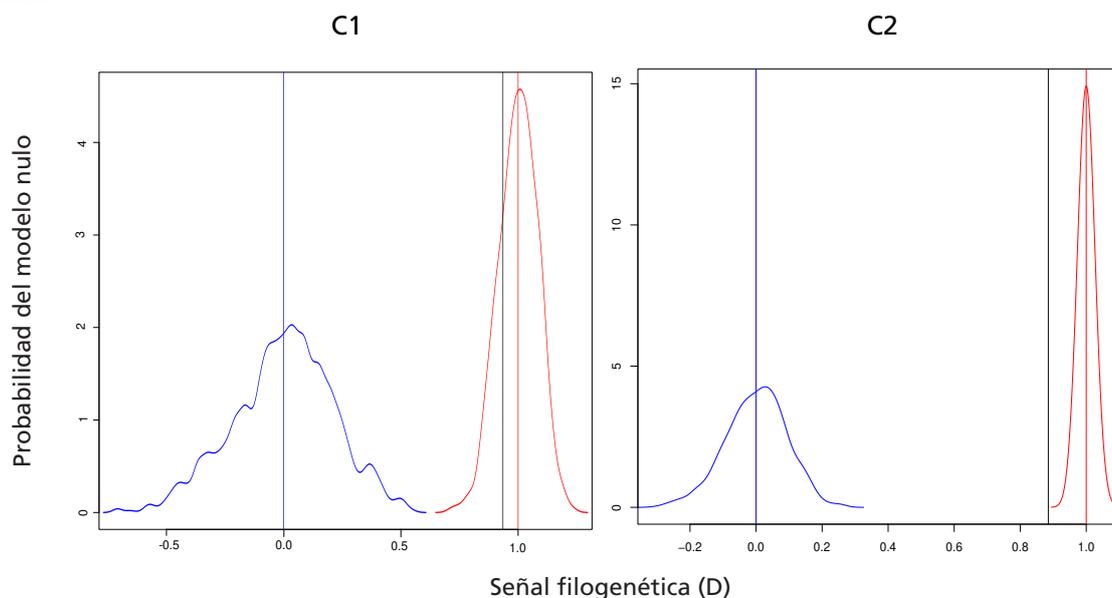
Agradecimientos

Agradecemos la financiación otorgada por los proyectos EVOFLORAND (FEDER US-1265280) de la Universidad de Sevilla y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), BIOVEGAN (P18-RT-3651 2020) del PAIDI-H2020, LifeWatch-ERIC (LifeWatch-2019-10-UGR-01_WP-1) y SUMHAL, (LifWatch-2019-09-CSIC-13,) del MICINN a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional POPE 2014-2020, así como las facilidades prestadas por los Servicios Generales de Investigación de la Universidad de Sevilla, especialmente el Servicio de Herbario (SGIH) y de la Red Andaluza de Jardines Botánicos y Micológicos en Espacios Naturales (RED) de la Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul de la Junta de Andalucía.

Bibliografía

- Alonso C, Garrido JL, & CM Herrera (2004) *Investigaciones sobre plantas y animales en las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas. 25 años de estudios por el CSIC*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.
- Baker WJ, Dodsworth S, Forest F, Graham SW, Johnson MG, McDonnell A, Pokorny L, Tate JA, *et al.*, (2021) Exploring Angiosperms353: an open, community toolkit for collaborative phylogenomic research on flowering plants. *American Journal of Botany* 108: 1059-1065.
- Brown TB, Hultine KR, Steltzer H, Denny EG, Denslow MW, Granados J, ... & AD Richardson (2016) Using phenocams to monitor our changing Earth: toward a global phenocam network. *Frontiers in Ecology and the Environment* 14: 84-93.
- Chuine I, Yiou P, Viovy N, Seguin B, Daux V & ELR Ladurie (2004) Historical phenology: grape ripening as a past climate indicator. *Nature* 432: 289-290.
- Cueto M, Melendo M, Giménez E, Fuentes J, López-Carrique E & G Blanca (2018). First updated checklist of the vascular flora of Andalucía (S of Spain), one of the main biodiversity centres in the Mediterranean Basin. *Phytotaxa* 339: 1-95.
- Fritz SA & A Purvis (2010) Selectivity in mammalian extinction risk and threat types: A new measure of phylogenetic signal strength in binary traits. *Conservation Biology* 24: 1042-51.
- Fuentes J, Sánchez R, Segura JM, Cueto M, Ramírez J & L Gutiérrez (2020) Novedades corológicas destacables para la flora vascular de Andalucía, (sur de España) IV. *Anales de Biología* 42: 63-73.
- Gordo O & JJ Sanz (2009) Long term temporal changes of plant phenology in the Western Mediterranean. *Global Change Biology* 15: 1930-1948.
- Herrera CM (1992) Historical effects and sorting processes as explanations for contemporary ecological patterns: character syndromes in Mediterranean woody plants. *The American Naturalist* 140: 421-446.
- Herrera CM (2016) Cincuenta años de investigación ecológica por y en la Estación Biológica de Doñana: una exploración bibliométrica. in M. Ferrer (Ed.), *Doñana. 50 años de investigaciones científicas*, pp. 61-77. Colección Anejos Arbor, CSIC, Madrid.
- Herrera CM, Araque E & JD Sánchez (1992) *Bibliografía sobre historia natural y geoeconómica del Parque Natural de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas*. Agencia de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Jaén. 83 pp.
- Jin Y & H Qian (2019) V. PhyloMaker: an R package that can generate very large phylogenies for vascular plants. *Ecography* 42: 1353-1359.
- May RM (1990) Taxonomy as destiny. *Nature* 347: 129-130.
- Médail F & R Verlaque (1997) Ecological characteristics and rarity of endemic plants from southeast France and Corsica: implications for biodiversity conservation. *Biological Conservation* 80: 269-281.
- Miranda Cebrián H, Font X, Roquet C, Pizarro Gavilán M & MB García (2022) Assessing the vulnerability of habitats through plant rarity patterns in the Pyrenean range. *Conservation Science and Practice* 4: e12649.
- Molina-Venegas R, Aparicio A, Lavergne S & J Arroyo (2015). The building of a biodiversity hotspot across a land-bridge in the Mediterranean. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 282: 20151116.
- Moreno-Llorca R & R Zamora (2022) Scientific Knowledge Generated in Sierra Nevada: Bibliographic Review (1970–2021). En: R. Zamora & M. Oliva (Eds.) *The Landscape of the Sierra Nevada*. Springer Nature Switzerland AG.
- Plaza Arregui L & C Rodríguez Hiraldo (2009). La recuperación de *Linaria lamarkii*. *Conservación Vegetal* 13: 16-17.
- Rabinowitz D (1981) Seven forms of rarity. En: H. Synge (Ed.) *Biological aspects of rare plant conservation*. Wiley & Sons, Chichester.
- Renner SS & CM Zohner (2018). Climate change and phenological mismatch in trophic interactions among plants, insects, and vertebrates. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 49: 165-182.
- Riches, Z (2021). *Rarity and Phylogenetic Diversity of Protected Andalusian Vascular Flora*. TFM, Universidad de Sevilla.
- Schwartz MD & BE Reiter (2000) Changes in North American spring. *International Journal of Climatology* 20: 929-932.
- Valiente-Banuet A, Aizen MA, Alcántara JM, Arroyo J, Cocucci A, Galetti M, ... & R Zamora (2015) Beyond species loss: the extinction of ecological interactions in a changing world. *Functional Ecology* 29: 299-307.
- Verdú M & JG Pausas (2007) Fire drives phylogenetic clustering in Mediterranean Basin woody plant communities. *Journal of Ecology* 95: 1316-1323.

Cuadro 1



¿Cómo determinar la diferenciación evolutiva de un taxón y la señal filogenética?

La diferenciación evolutiva de un taxón o de un conjunto de ellos necesita de una filogenia de referencia en la que estos taxones estén incluidos. Con esta filogenia podemos calcular el índice de diferenciación o singularidad evolutiva de cada taxón (parámetro D de Fritz & Purvis, 2010). Un grupo de taxones en estudio puede promediarse y la distribución de sus valores de D compararse estadísticamente con un modelo nulo dado. Los modelos nulos de interés son los que suponen una señal filogenética completa, es decir, que todos los taxones que pertenezcan a un mismo clado compartan las mismas características o, en el extremo opuesto, un modelo sin señal filogenética alguna, en el que los taxones de estudio que comparten las mismas características estén repartidos en clados muy divergentes de la filogenia. Los valores estimados de D para el conjunto de taxones de estudio estarán más cerca o más lejos de cada uno de estos dos extremos y así se podrá determinar la señal filogenética de los taxones elegidos.

En nuestro estudio las filogenias de referencia son la obtenida mediante secuenciación genómica para la flora leñosa de los Parques Nacionales andaluces (Fig. 2), y la obtenida para toda la flora andaluza basada en secuencias de ADN disponibles en repositorios, mediante el paquete de R V.PhyloMaker (Jin & Qian, 2019) a partir de una macrofilogenia implementada en dicho paquete (ca. 80.000 especies y con clados de géneros y familias anotados) que incluye todos los géneros y prácticamente todas las especies vasculares presentes en Andalucía, aunque muchas de ellas obtenidas a partir de muestras recolectadas en otras áreas. Esta segunda filogenia es la que se ha usado para calcular la diferenciación evolutiva de la flora amenazada (Riches, 2021). En el caso de la flora leñosa se comprueba (c1) que los taxones endémicos no presentan señal filogenética significativa con respecto a toda la flora leñosa secuenciada (muestra de 291 especies y subespecies de la flora leñosa de los tres Parques Nacionales andaluces), ya que el valor observado (línea negra) es muy cercano a 1 ($D = 0,93$, señal filogenética al azar; no se puede rechazar que este valor estimado sea estadísticamente diferente de 1) y queda dentro de la curva de distribución de probabilidad del modelo de señal filogenética nula (curva roja). Sin embargo, sí se puede afirmar que es estadísticamente diferente de 0 (señal filogenética máxima).

En el caso de la flora amenazada, se puede comprobar que esta no presenta tampoco una señal filogenética clara con respecto a la flora vascular completa andaluza (c2), ya que el valor de D observado (línea negra) queda fuera de las curvas de distribución de los modelos de señal filogenética total (curva azul) y nula (curva roja). Es decir, esta es una muestra más o menos azarosa dentro de la filogenia de la flora completa andaluza.

COORDINACIÓN DEL BIOMARATÓN 2023

¿Crees que la diversidad vegetal queda en un segundo plano a pesar de ser indispensable para nuestra supervivencia? ¿Quieres fomentar la divulgación y crear afición por la botánica?



A raíz de nuestra preocupación por la desconexión entre la ciudadanía y el mundo vegetal, surgió la idea de organizar un Biomaratón de Flora: una "gran fiesta de la botánica" en la que ciudadanos de todo el país pudieran salir al campo durante un fin de semana y fotografiar plantas, o simplemente disfrutar de la naturaleza mientras aprendían sobre nuestra biodiversidad vegetal. El éxito de participación y el entusiasmo generado por la experiencia hizo que el Biomaratón se convirtiera en uno de los mayores eventos de participación ciudadana organizados en España. Y todo este éxito se debió en buena parte a la red de coordinadores y colaboradores que participaron de forma totalmente altruista movidos por su curiosidad por las plantas y su interés por la naturaleza. ¡En un solo fin de

semana se registraron aproximadamente el 25% de las especies documentadas en España! Dichas observaciones han sido revisadas posteriormente por cientos de personas para filtrar la calidad de los datos. En el año 2023 la actividad se llevará a cabo del 18 al 21 de mayo. ¿Te apetece contribuir a esta iniciativa y ser coordinador del Biomaratón 2023? Los coordinadores se encargan de difusión en redes, coordinación de reuniones, nuevas ideas, o propuestas de charlas, excursiones, talleres y actividades, siempre con la intención de fomentar la interacción entre botánicos y ciudadanos. Si de verdad te interesa ir un poco más allá en la lucha por visibilizar la importancia de las plantas, escribe a gtse.sebot@gmail.com o a [@Biomaraton](https://twitter.com/Biomaraton) en Twitter para sumarte a la red.

**¡No te lo pienses más! ¡Tus aportaciones son bienvenidas!
Todos sumamos**