

El medio subterráneo como refugio de flora

Juan J. Herrero-Borgoñón^{1,*} 

(1) Parques, Jardines y Biodiversidad Urbana, Ayuntamiento de Valencia, C/ Antonio Suárez 7, 46021 Valencia, España.

Autor de correspondencia*: Juan J. Herrero-Borgoñón [juan.j.herrero@uv.es]

> Recibido el 08 de noviembre de 2023 - Aceptado el 04 de marzo de 2024

Cómo citar: Herrero-Borgoñón, J.J. 2024. El medio subterráneo como refugio de flora. *Ecosistemas* 33(2): 2670. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2670>

El medio subterráneo como refugio de flora

Resumen: Las especiales características del medio subterráneo condicionan fuertemente el crecimiento de las plantas, siendo la luz el principal factor limitante para la vida vegetal, motivo por el que la flora que crece en las cavidades subterráneas generalmente ve restringida su presencia a las zonas de entrada de las mismas. Sin embargo, tras analizar y comparar los factores ambientales y la composición de la flora que se desarrolla en la entrada de las cuevas y de las simas, se concluye que son las simas las que albergan un mayor número y mejores poblaciones, tanto de especies raras y amenazadas, como de especies relictas, lo cual probablemente se debe a la mayor estabilidad de su microclima. Son las condiciones de frescor y humedad que ofrecen sus entradas las que han permitido la permanencia en su interior de algunas especies vegetales actualmente ausentes o raras en su entorno, encontrándose tanto relictos de periodos climáticos anteriores, como restos de comunidades vegetales desaparecidas en el exterior como consecuencia de la alteración del hábitat, siendo los briófitos y los pteridófitos los grupos que presentan un mayor interés biogeográfico y conservacionista. Estas evidencias ponen de manifiesto la relevancia del medio subterráneo como refugio climático y como reservorio de biodiversidad vegetal, así como la necesidad de incrementar los estudios sobre el mismo y de adoptar medidas para su conservación; ponerlo en valor representa el principal objetivo del presente trabajo.

Palabras clave: biodiversidad; conservación; cuevas; especies relictas; espeleoflora; simas

The subterranean environment as a refuge for flora

Abstract: The special characteristics of the subterranean environment strongly condition the growth of plants, with light being the main limiting factor for plant life, which is why the flora that grows in subterranean cavities is generally restricted to their entrance areas. However, after analyzing and comparing the environmental factors and the composition of the flora that develops at the entrance of the caves and potholes, it is concluded that it is the potholes that are home to a greater number and better populations, both of rare and threatened species, as well as of relict species, which is probably due to the greater stability of their microclimate. It is the conditions of freshness and humidity offered by its entrances that have allowed the permanence of some plant species currently absent or rare in its environment, finding both relics of previous climatic periods, as well as remains of plant communities that have disappeared outside as consequence of habitat alteration, with bryophytes and pteridophytes being the groups that present the greatest biogeographic and conservationist interest. This evidence highlights the relevance of the subterranean environment as a climate refuge and as a reservoir of plant biodiversity, as well as the need to increase studies on it and adopt measures for its conservation; highlighting it is the main objective of this work.

Keywords: biodiversity; caves; conservation; potholes; relict species; speleoflora

Introducción

Cuando hablamos de los organismos vivos que pueblan el medio subterráneo habitualmente tendemos a pensar en la fauna, por ser el grupo de organismos mejor representado y conocido en él, del que se han descrito numerosas especies con diferentes adaptaciones a dicho medio, sobre todo a sus zonas profundas, lo que los convierte en el objetivo de la mayor parte de los estudios biológicos que se llevan a cabo en este medio. Es por ello, que no es habitual pensar en otros organismos que no sean animales, y menos en los vegetales, puesto que la ausencia o escasez de luz, necesaria para la fotosíntesis, se presenta como un importante factor limitante para la vida vegetal.

Sin embargo, el estudio de los vegetales que pueblan el medio subterráneo se remonta al siglo XVIII, cuando J.A. Scopoli publicó en 1772 la primera obra que trata de plantas subterráneas (Scopoli 1772), aunque no fue hasta la segunda mitad del siglo XIX y principios del s. XX cuando se comenzaron a estudiar de forma sistemática tanto los vegetales que se desarrollan en el medio subterráneo como las respuestas que presentan éstos cuando crecen, bien con ausencia o escasez de luz, o bien en ambientes con una humedad ambiental cercana a la de saturación, descubriéndose que en dichas condiciones suelen aparecer modificaciones morfológicas y anatómicas en el tallo y en las hojas, además de alterarse los procesos fisiológicos y reproductivos (Pokorny 1853, 1854; Maheu 1906; entre otros).

Estas alteraciones, como el reducido o incompleto desarrollo del aparato vegetativo o la frecuente ausencia de estructuras reproductoras como consecuencia de la escasez de luz, dificultan a menudo la determinación de los ejemplares que se desarrollan en este medio, llegando a hacerlo inviable en algunas ocasiones.

Ya avanzado el siglo XX se incrementaron los trabajos de carácter taxonómico y ecológico sobre la flora que puebla el medio subterráneo, de los que se pueden citar, como ejemplo, los realizados por [Tosco \(1959\)](#), [Dobat \(1966, 1970\)](#) y [Cubbon \(1976\)](#), aunque ha sido durante las últimas décadas cuando se ha incrementado notablemente su estudio a lo largo de todo el mundo.

Actualmente se conocen muy pocas especies no animales adaptadas al medio subterráneo, aunque se han descrito ya algunas especies nuevas de cianobacterias y de hongos que parecen presentar algún tipo de adaptación que les permite prosperar en estos ambientes, y que por el momento han sido encontradas sobre todo en el medio subterráneo.

Entre las cianobacterias y las algas se encuentran los microorganismos fotosintéticos que presentan un mayor número de formas cavernícolas y pre-cavernícolas gracias a su capacidad de adaptación al medio, puesto que pueden sufrir adaptaciones cromáticas y producir pigmentos accesorios que les permiten captar la luz de una forma óptima, pudiendo crecer en condiciones de muy baja iluminación, hasta el punto de que algunas especies se han encontrado solo, o fundamentalmente, en cavidades subterráneas. Entre las especies encontradas en cuevas españolas se encuentran *Geitleria calcarea* y *Cyanidium caldarium*, descubiertas por primera vez en España en el interior de cavidades subterráneas ([Gracia 1974a](#); [García-Fernández y Aboal 2011](#)).

No obstante, hay unanimidad al considerar que no existe una flora específicamente subterránea o cavernícola, debido a que las modificaciones que presentan los vegetales que crecen en tales circunstancias no suelen ser hereditarias, y que tales vegetales solo se diferencian de su tipo por alguna alteración del color y de su porte general ([Maheu 1906](#); [Vandel 1964](#); [Géze 1976](#)).

A pesar de ello, algunos autores consideran que las condiciones ecológicas que reúne el medio subterráneo conforman, para los vegetales, un hábitat distinto al de los hábitats superficiales, debido a la confluencia de unos factores ecológicos peculiares que los condicionan de una forma diferente al exterior, por lo que los vegetales que se desarrollan en este medio presentan una problemática concreta que les dota de una entidad propia, incluyendo la vegetación que coloniza las entradas de las cavidades subterráneas ([Gracia 1974b](#); [Monro et al. 2018](#), entre otros).

Los diferentes planteamientos existentes respecto a la naturaleza de la flora que se desarrolla en el medio subterráneo han motivado que se le haya denominado de diferentes formas desde el comienzo de su estudio, siendo los términos más utilizados los de flora subterránea y flora cavernícola, si bien estos términos quizás no sean los más adecuados, puesto que se contradicen con la tesis, generalmente aceptada, de que no existe una flora específicamente subterránea o cavernícola, motivo por el que preferimos emplear en su lugar el término de espeleoflora, en consonancia con el término espeleobotánica, términos ambos ya empleados en algunos de los estudios realizados sobre esta flora ([Douglas 1938](#); [Fiedler y Buzjak 1997](#); [Buzjak y Vrbek 2001](#); [Sguazzin 2004](#); [Sguazzin y Polli 2011](#); entre otros).

El medio subterráneo y la vida vegetal

Nuestra comprensión del medio subterráneo ha mejorado notablemente en las últimas décadas, quedando patente la interconexión existente entre los hábitats subterráneos superficiales y los profundos, que incluyen desde las redes de fisuras hasta las cavidades subterráneas accesibles para el hombre, tanto naturales como artificiales ([Mammola 2018](#); [Blatnik et al. 2020](#)). Aunque hoy en día se ha establecido una diferenciación entre los diferentes hábitats subterráneos, a efectos prácticos a menudo se agrupan todos bajo la denominación genérica de medio subterráneo.

A pesar de la extensión del medio subterráneo y de la variedad de hábitats que incluye, las plantas que precisan de la luz para realizar la fotosíntesis encuentran limitada su presencia a aquellos ambientes donde llega ésta, aunque sea de forma atenuada, motivo por el que la flora queda restringida en la mayoría de las ocasiones a las zonas de entrada de las cavidades subterráneas, también conocidas como zonas vestibulares, donde todavía puede realizar su actividad fotosintética y donde en ocasiones puede llegar a alcanzar gran desarrollo, si las condiciones son favorables.

Estas zonas de entrada suponen una zona de transición o interfase entre los hábitats superficiales y los subterráneos, motivo por el que representan un ecotono que alberga especies de ambos medios.

Aunque este papel de zona ecotonal ya ha sido puesto de manifiesto para las comunidades faunísticas que la habitan ([Prous et al. 2015](#); [Mammola 2018](#)), también podría aplicarse a las comunidades florísticas, en cuanto a que en las entradas se pueden encontrar comunidades vegetales mixtas con especies procedentes de distintos tipos de vegetación. El estudio de estas comunidades es un tema que todavía no ha sido abordado específicamente, pero cuando se acometa permitirá conocer mejor las distintas asociaciones vegetales vinculadas a este peculiar hábitat.

Por otro lado, conviene aclarar que cuando se habla de cavidades subterráneas accesibles para el hombre, bajo esta denominación se incluyen tanto las de origen natural (cuevas y simas) como las de origen artificial (minas, pozos, etc.), sin olvidar las que se hallan habilitadas para el turismo y para otros fines; sin embargo, para simplificar, en este trabajo denominamos cavidades subterráneas a todas ellas.

Los factores ambientales limitantes para la espeleoflora

Las entradas de las cavidades subterráneas poseen unas condiciones ecológicas particulares, como son una iluminación generalmente escasa, una temperatura relativamente constante, una alta humedad, una estacionalidad atenuada y sustratos muy característicos, con paredes rezumantes en ocasiones, particularidades éstas que les confieren un microclima especial.

La distribución y la intensidad de la luz en la entrada de las cavidades subterráneas influye de forma decisiva en la composición, la disposición y la profundidad que alcanza la flora que se desarrolla en ella, erigiéndose la luz como el principal factor limitante de la vida vegetal en estos ambientes.

Ahora bien, junto con la luz, la humedad y la temperatura también figuran entre los principales factores limitantes del crecimiento vegetal en estas zonas, y es el equilibrio entre ellos el que condiciona el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas.

Así, las plantas tienden a crecer lo más cerca posible del exterior en busca de una iluminación adecuada que les permita completar con éxito su ciclo vital, pero las condiciones de temperatura y de humedad existentes en el exterior, que muchas veces son desfavorables u hostiles (sobre todo en ambientes cálidos y secos), suponen un obstáculo para su crecimiento, motivo por el cual la mayor parte de las plantas acaba desarrollándose en aquellos puntos en que la interacción de estos tres factores ambientales presentan valores compatibles con las necesidades vitales de cada especie (Herrero-Borgoñón y Mateo 1984).

No obstante, son los factores locales existentes en cada cavidad los que determinan finalmente las condiciones ecológicas en su entrada, existiendo factores que pueden llegar a distorsionar el marco climático que les rodea. Estos factores pueden estar relacionados con las características físicas y topográficas de la boca (dimensiones, forma, orientación y grado de inclinación respecto al terreno), con la litología (color y naturaleza de la roca madre en que ésta se desarrolla) o con la vegetación que se desarrolla en la boca, que puede llegar a cubrirla total o parcialmente, entre otros factores (Fig. 1).

Cabe matizar que, aunque venimos hablando de cavidades subterráneas en un sentido amplio para hablar de todas las que son accesibles para el hombre, las condiciones ecológicas existentes para la vida vegetal en la entrada (o boca) de las cuevas y de las simas no son idénticas. Por lo general, se denominan cuevas a aquellas cavidades subterráneas cuya entrada y desarrollo son predominantemente horizontales, en contraposición a las simas, cuya entrada y desarrollo son predominantemente verticales o escalonados, motivo por el que se suele acceder a ellas a través de un pozo o conducto vertical de entrada que puede presentar distintas morfologías.

Entre las condiciones ecológicas presentes en la entrada de ambas existen diferencias apreciables, pudiendo destacarse que en el pozo de entrada de las simas (sobre todo en las que presentan pozos de una cierta profundidad) suele darse una estratificación vertical de la temperatura y de la humedad que proporciona un microclima mucho más estable que en las cuevas, donde no existe una zonificación climática tan nítida. Por otro lado, en la boca de las simas se encuentran sustratos menos



Figura 1. Las características de la boca de las cavidades subterráneas son las que condicionan la entrada de la luz y su distribución en el interior de las mismas, determinando la presencia y el crecimiento de la flora en ellas (Fotografía: Sergio Montagud).

Figure 1. The characteristics of the entrance to the subterranean cavities are those that condition the entry of the light and its distribution inside them, determining the presence and growth of the flora in them (Photo: Sergio Montagud).

favorables para las plantas, pues habitualmente se trata de paredes rocosas más o menos verticales con escasos acúmulos de tierra, que solo se encuentran en las repisas y en el fondo, frente a los suelos generalmente térreos que suelen presentar las bocas de las cuevas. Estas diferencias son las responsables de que algunas especies crezcan preferente o únicamente en la entrada de las simas y no de las cuevas, y viceversa.

Con la progresión desde el exterior hacia el interior, tanto de las cuevas como de las simas, y en consonancia con la progresiva disminución de la iluminación exterior, van desapareciendo los grupos vegetales más evolucionados, que son al mismo tiempo los más exigentes en iluminación. Así, las plantas con flores y semillas (espermatófitos), y a menudo también los líquenes, son los primeros en desaparecer según avanzamos hacia el interior del medio subterráneo, para a continuación hacerlo sucesivamente los helechos (pteridófitos), las hepáticas y los musgos (briófitos), y finalmente las algas (microalgas en realidad) y las cianobacterias. Este hecho da lugar a una zonación de la vegetación en función de sus requerimientos lumínicos, que se manifiesta más claramente en la boca de las simas (donde las especies de requerimientos similares se disponen en bandas) que de las cuevas.

Paralelamente a la desaparición de los grandes grupos vegetales con la profundidad, es habitual que también se produzca una reducción en el número de especies presentes de cada grupo, como ya apuntaba Gèze (1976).

No obstante, existen algunas especies que toleran niveles de iluminación muy bajos y que son capaces de alcanzar una cierta profundidad cuando la orientación, la topografía y las dimensiones de la boca lo permiten; así, por ejemplo, en las simas de la Comunidad Valenciana se han encontrado musgos creciendo hasta los 55 m de profundidad en su interior (Herrero-Borgoñón 1986; Herrero-Borgoñón y Puche 1987), mientras que en las simas de Mallorca se han llegado a encontrar musgos hasta los 60 m de profundidad (Rosselló y Ginés 1980).

Se ha intentado determinar el límite inferior de luminosidad bajo el que pueden llegar a desarrollarse los distintos grupos vegetales en el medio subterráneo, a fin de conocer su tolerancia a los niveles de iluminación bajos. A este respecto disponemos de las mediciones realizadas en diversas simas valencianas y baleares.

En las simas valencianas, las mediciones realizadas por Herrero-Borgoñón (1985) permitieron determinar que los helechos pueden llegar a crecer con valores de hasta 153 lux (*Asplenium trichomanes*), las hepáticas con valores de hasta 117 lux (*Cephalozia bicuspadata*) y los musgos pueden llegar a crecer de forma excepcional por debajo de 10 lux (*Thamnobryum alopecurum*), aunque lo más habitual es que lo hagan con valores superiores a 50 lux.

Los valores aportados por Ginés y Ginés (1992) y por Fiol (1995) para las simas mallorquinas indican que allí el límite inferior de los helechos oscila entre los 700 lux de *Polypodium cambricum* y los 100-140 lux de *Asplenium scolopendrium*, mientras que los valores medidos en los musgos mostraban que pueden llegar a crecer hasta con 40-60 lux (*Homalia lusitanica*) y las hepáticas hasta con 20 lux (*Pellia fabbroniana*).

Un caso especial lo constituyen las cavidades subterráneas acondicionadas por el hombre para el turismo (o para otras finalidades) que disponen de focos de luz artificial en su interior, alrededor de los cuales, y gracias a la posibilidad de disponer de un número constante de horas de iluminación al día, se pueden desarrollar diversos vegetales. Este es el único caso en el que las plantas fotosintéticas pueden desarrollarse en el interior de las cavidades subterráneas, disponiéndose las plantas en las proximidades de los puntos artificiales de luz (Dobat 1977) (Fig. 2).

En estas situaciones, las características de la luz y la duración del fotoperiodo, que condicionan el crecimiento de la vegetación existente alrededor de los focos, dependen de factores relacionados con las características de la instalación eléctrica (tipo de lámparas, color, potencia, etc.) y con su frecuencia de uso.

Cuando la iluminación eléctrica es utilizada a diario o con frecuencia, y tras largos periodos de funcionamiento, además de las plantas que habitualmente crecen alrededor de los focos (plantas con semilla, helechos y musgos fundamentalmente), proliferan biofilms fotosintéticos que pueden aparecer en puntos incluso ya alejados de los mismos. El desarrollo de estos biofilms o biopelículas, formados generalmente por diferentes tipos de microorganismos, puede implicar procesos de biodeterioro del sustrato sobre el que se desarrollan, pudiendo dañar tanto los espeleotemas de las cuevas como otros elementos del patrimonio natural y cultural, como las pinturas paleolíticas, por ejemplo.

Por otro lado, el estudio de estos biofilms presenta un gran interés biológico. Así, de los estudios de biología molecular realizados en los biofilms de la Cueva de Nerja (Málaga) se desprende que éstos presentan una diversidad no conocida y revelan que poseen un gran potencial para el aislamiento y descripción de nuevas especies de cianobacterias, algas, bacterias y arqueas (Del Rosal 2017).

El origen de la espeleoflora

Por regla general, el origen de la flora que puebla la entrada de las cavidades subterráneas hay que buscarlo en la flora que vive, o que vivió en el pasado, en la zona exterior, ya sea en el entorno inmediato de la cavidad o en la región en que ésta se localiza.

En la mayoría de las ocasiones, las mismas especies que crecen en el interior de las cavidades subterráneas también crecen en el exterior, pero con diferente grado de desarrollo según sus requerimientos ecológicos, de forma que las especies que requieren ambientes sombreados y húmedos (especies esciófilas e higrófilas) encuentran en la entrada de las cavidades un ambiente propicio, donde adquieren un mayor desarrollo que en el exterior.



Figura 2. En las cavidades subterráneas habilitadas para el turismo que disponen de iluminación eléctrica con funcionamiento regular, se puede encontrar flora creciendo en el área de influencia de la luz proporcionada por los focos. Son las características técnicas de los focos y la existencia de sustratos adecuados en sus proximidades los que condicionan la aparición y la distribución del crecimiento vegetal.

Figure 2. In the subterranean cavities enabled for the tourism that have electric lighting with regular operation, flora can be found growing in the area of influence of the light provided by the spotlights. It is the technical characteristics of the light bulbs and the existence of suitable substrates in their vicinity that determine the appearance and distribution of plant growth.

Por este motivo, hay especies que en determinadas zonas presentan sus mejores poblaciones dentro de las cavidades subterráneas, estando escasamente representadas en el exterior, donde su desarrollo es notablemente menor. Generalmente, estas especies crecen de forma abundante en el exterior en otras regiones con un clima más fresco y húmedo.

En algunos territorios, sobre todo en aquellos con climas cálidos y secos, las condiciones de frescor y humedad que ofrecen las entradas de las cavidades subterráneas han permitido la permanencia en su interior de algunas especies vegetales actualmente ausentes o raras en su entorno, encontrándose tanto relictos de periodos climáticos anteriores más fríos y húmedos, como restos de comunidades vegetales desaparecidas en el exterior como consecuencia de la alteración del hábitat (transformaciones agrícolas, incendios forestales, etc.).

Un ejemplo de ello lo podemos encontrar en la vertiente mediterránea española, donde los incendios forestales han devastado extensas áreas durante las últimas décadas, dejando amplias zonas afectadas, en las que se puede observar como en el interior de las simas con bocas de medianas y grandes dimensiones han sobrevivido al fuego restos de la flora y vegetación que se desarrollaba anteriormente en los alrededores, gracias a la barrera topográfica y al microclima más húmedo que proporcionan las simas (Fig. 3).

Cuando los incendios son recurrentes en el tiempo en una determinada zona, estas simas acaban convirtiéndose en auténticos refugios de una flora ya desaparecida en la misma, de manera que en su interior se pueden encontrar testimonios que delatan la flora y la vegetación que ocupaba la zona en tiempos pasados (Herrero-Borgoñón 2003). Aunque este efecto refugio se hace más patente en el interior de la boca de las simas, también se puede observar, aunque en menor medida, en la entrada de algunas cuevas.



Figura 3. Las simas actúan como refugios de biodiversidad en entornos degradados gracias a la barrera topográfica y al microclima que proporcionan en su interior, albergando a menudo especies desaparecidas en el exterior.

Figure 3. The potholes act as refuges for biodiversity in degraded environments thanks to the topographic barrier and the microclimate they provide inside, often hosting species that have disappeared outside.

Composición de la espeleoflora

Aunque se han realizado estudios sobre la composición de la flora que puebla la entrada de las cavidades subterráneas en diferentes lugares, uno de los territorios donde mejor se conoce esta flora es en la Comunidad Valenciana, donde viene siendo estudiada desde hace cuatro décadas, lo que ha permitido prospectar hasta ahora 290 cuevas y simas de diferente tipología, tanto naturales como artificiales, incluyendo algunas de uso turístico, habiéndose podido encontrar flora macroscópica en el interior de un 73% de ellas (212 cavidades), puesto que no todas presentan condiciones aptas para el crecimiento vegetal. A pesar de que dicho estudio todavía está inconcluso, y por tanto inédito, las observaciones de campo y las recolecciones de flora llevadas a cabo han permitido obtener ya algunos resultados.

Si bien los resultados todavía no son definitivos, podemos avanzar algunos de ellos porque pueden resultar ilustrativos de la composición florística que puede encontrarse en las cavidades del área mediterránea española, donde se localizan las cuevas y las simas que han sido estudiadas (provincias de Valencia, Castellón y Alicante).

La flora estudiada hasta ahora en la entrada de las cavidades subterráneas valencianas ha permitido identificar 225 táxones vegetales, de los cuales 131 son plantas con semilla, 21 son helechos, 17 son hepáticas, 53 son musgos y 3 son líquenes. Las algas y las cianobacterias no han sido examinadas todavía, debido a la mayor complejidad de su estudio.

Al analizar las especies de plantas con semilla que aparecen con mayor frecuencia en la entrada de las cavidades estudiadas se observa que la mayor parte corresponden a especies de carácter forestal, seguidas por las de carácter rupícola y por las de carácter nitrófilo, siendo éstas últimas habituales en aquellas entradas de cuevas frecuentadas por el ganado y/o por la fauna silvestre. Respecto a los helechos, la gran mayoría de las especies encontradas son de comportamiento rupícola, mientras que entre los musgos y las hepáticas los porcentajes de especies terrícolas y saxícolas están prácticamente igualados.

Si se compara cualitativamente la diversidad específica de cuevas y simas, se observa que son las simas las que albergan un mayor número y mejores poblaciones de especies raras o amenazadas, lo cual probablemente se debe a la mayor estabilidad

de su microclima. También puede contribuir el hecho de que la flora que crece en los pozos de entrada de las simas no se ve afectada por la acción de los herbívoros, hecho que sí ocurre en la entrada de las cuevas debido a su fácil acceso.

De los grupos estudiados, son los pteridófitos, y sobre todo los briófitos, los que presentan un mayor interés biogeográfico y conservacionista, destacando algunos cuya presencia en el territorio iberolevantino se limita única o fundamentalmente al interior de las simas, así como otros que, a pesar de no restringir su presencia exclusivamente a las cavidades, presentan la mayor parte de sus efectivos y sus mejores poblaciones en ellas.

Al comparar la composición florística de las simas valencianas con la de las simas baleares, de las que también se dispone de información (Rosselló y Ginés 1980; Ginard et al. 2010), se observa que un número significativo de las especies de briófitos y de pteridófitos identificados están presentes en las simas de ambos territorios, coincidiendo también varias de las especies relictas que albergan, siendo previsible esta semejanza, tanto por su proximidad geográfica como por su similitud climática. Entre las especies relictas que se encuentran presentes en las simas de ambos territorios se pueden citar los musgos *Homalia lusitanica*, *Taxiphyllum wissgrillii* y *Orthothecium intricatum*, así como el helecho *Asplenium scolopendrium* (Fig. 4).

Además de que estas especies pueden ser consideradas actualmente como relictas en estos territorios, varias de ellas se encuentran catalogadas como raras o amenazadas en los mismos, lo que reafirma la importante función que desempeñan las entradas de simas y de cuevas en la conservación de la flora, especialmente en los ambientes cálidos y secos, como los del área mediterránea, donde actúan como refugios de flora relictica, tal como han corroborado distintos autores (Rosselló y Ginés 1980; Herrero-Borgoñón 1986; Fiol 1995; Pérez-Obiol et al. 2003; Ginard et al. 2010; Rosselló y Pericàs 2011).



Figura 4. En las zonas más secas de la vertiente mediterránea española es frecuente encontrar al helecho *Asplenium scolopendrium* refugiado en la entrada de las cavidades subterráneas (sobre todo en simas y grietas verticales), donde presenta sus mejores poblaciones.

Figure 4. In the driest areas of the Spanish Mediterranean slope it is common to find the fern *Asplenium scolopendrium* sheltered at the entrance of the subterranean cavities (especially in potholes and vertical crevices), where it has its best populations.

La importancia del medio subterráneo para la conservación de la flora

En el escenario climático actual, los efectos del calentamiento global pueden suponer un declive, no solo de las plantas que actualmente ya son raras y se encuentran amenazadas en sus ecosistemas, sino también de las especies que requieren de ambientes frescos y húmedos en mayor medida.

Un ejemplo de los efectos que ya está teniendo este calentamiento en la vegetación que se desarrolla en la entrada de las cavidades subterráneas, lo muestran los datos obtenidos en el seguimiento que venimos realizando sobre la flora de diferentes cavidades valencianas, donde hemos podido observar cómo, en las dos últimas décadas, algunas de las especies de plantas vasculares que crecen en las entradas han sido sustituidas por otras especies menos exigentes en humedad, propias de ambientes más áridos, aunque de momento este hecho solo se ha observado puntualmente en algunas cuevas.

Entre los vegetales sensibles a las condiciones climáticas adversas se puede mencionar el caso de los briófitos, muchos de los cuales requieren de ambientes húmedos para completar su ciclo vital, y que son uno de los grupos vegetales que se encuentran mejor representados y estudiados en las entradas de las cavidades, hasta el punto de que en algunos territorios presentan un alto porcentaje de su biodiversidad en éstas (Fig. 5).

Así, Rosselló y Pericàs (2011) predijeron que al menos un 25% de la flora briológica balear se encuentra en cavidades subterráneas, mientras que Gabriel et al. (2004) indicaron que cerca del 35% de la brioflora de las islas Azores también se

encuentra en cavidades subterráneas, circunstancia aprovechada para utilizar la diversidad y la rareza de las especies de briófitos presentes en las entradas de las cavidades para utilizarlas como indicadores de su valor para la conservación.

Por su parte, [González et al. \(1990\)](#), al analizar la flora briológica que se desarrollaba en una sima volcánica en la isla canaria de La Palma, pudieron comprobar cómo las condiciones ambientales existentes en su interior permitían la presencia de una brioflora propia de las zonas húmedas de los bosques de laurisilva canarios, que no se correspondía con la que se encontraba en el pinar de la región externa de dicha sima.

Otra muestra de la riqueza briológica que alberga el medio subterráneo la proporcionaron [Cong et al. \(2023\)](#), que estudiaron la diversidad de briófitos en 8 cuevas desarrolladas en lava volcánica en el noreste de China, donde llegaron a identificar 272 especies pertenecientes a 107 géneros. Una de las conclusiones obtenidas en dicho estudio fue que no había especies compartidas entre las ocho cuevas, y que cada cueva tenía una composición de especies única.

Por su parte, [Monro et al. \(2018\)](#) evidenciaron el interés que presentan las entradas de las cavidades subterráneas para la conservación de la flora en ecosistemas deforestados en regiones kársticas del suroeste de China, donde estudiaron la flora de 61 cavidades, en las que documentaron 418 especies de plantas vasculares; de éstas, 31 especies (el 7%) solo crecían en cavidades y 48 especies se encontraban amenazadas, llegando asimismo a describir 8 especies nuevas de plantas vasculares, entre plantas con semilla y helechos.

Todo lo anteriormente expuesto pone de relieve el valor de las cavidades subterráneas como refugios climáticos y como reservorios de biodiversidad, puesto que permiten la conservación de numerosas especies, algunas de ellas con un área de distribución actualmente disyunta debido a su carácter relictico, no solo frente a las fluctuaciones y cambios climáticos del exterior, sino también frente a la alteración de los hábitats ([Herrero-Borgoñón 2002, 2003](#); [Pérez-Obiol et al. 2003](#); [Monro et al. 2018](#)).



Figura 5. Los conos de derrubios existentes en la base de los pozos de entrada de algunas simas, junto con las condiciones de temperatura y humedad allí existentes, ofrecen unas condiciones ecológicas favorables para el desarrollo de los briófitos, entre los que se encuentra una buena parte de las especies relictas que alberga el medio subterráneo. Fotografía tomada de [Serrano 2013](#) (reproducida con permiso).

Figure 5. The debris cones at the base of the entrance pits of some potholes, together with the temperature and humidity conditions that exist there, offer favorable ecological conditions for the development of bryophytes, among which are many of the relict species that the subterranean environment harbors. Photo taken from [Serrano 2013](#) (reproduced with permission).

A pesar de disponer de suficientes evidencias de la importancia de la biodiversidad vegetal del medio subterráneo, esta flora todavía no suele ser tenida en cuenta, ni cuando se realizan análisis de la biodiversidad subterránea, ni cuando se fijan objetivos de conservación, quedando habitualmente al margen de las estrategias globales de conservación de la biodiversidad.

Por ello, sería deseable que en los objetivos y en las hojas de ruta que actualmente se proponen para la conservación de los ecosistemas subterráneos (Wynne et al. 2021), se incluyeran también los aspectos relacionados con la flora que se desarrolla en este medio y ésta fuera contemplada, tanto a la hora de profundizar en los vacíos de conocimiento existentes, como a la hora de proponer áreas de conservación.

La protección de la flora en el medio subterráneo

En cuanto a la protección del medio subterráneo y de los valores biológicos que contiene, todavía son limitados los instrumentos de protección que reconocen como un valor a proteger y conservar la biodiversidad presente en el mismo, y los pocos existentes no suelen contemplar la flora que se desarrolla en ellos.

Así, la Directiva Hábitats (Directiva 92/43/CEE), relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, incluye las cuevas no explotadas por el turismo entre los hábitats naturales de interés comunitario que deben de estar representados en la Red Natura 2000, si bien, a nivel biológico, su interés se centra fundamentalmente en la fauna adaptada a dicho hábitat (Robledo et al. 2009).

A nivel nacional, en España merece destacarse la Ley 11/1994, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana, que declara protegidas, con carácter general, todas las cuevas, simas y demás cavidades subterráneas sitas en el ámbito territorial valenciano, aunque es el Decreto 65/2006, del Consell de la Generalitat Valenciana, el que desarrolla el régimen de protección de las cuevas y aprueba el Catálogo de Cuevas de la Comunidad Valenciana, incluyendo un régimen especial de protección para las cavidades incluidas en dicho Catálogo.

La particularidad de la normativa valenciana reside en que uno de los criterios que se tuvieron en cuenta a la hora de seleccionar las cavidades incluidas en dicho Catálogo fue la presencia de flora singular en las mismas, puesto que, como indica dicho Decreto "es destacable el interés botánico que presentan muchas cavidades, particularmente simas, que en algunos casos han permitido la preservación de especies relictas". Los resultados obtenidos por la investigación que se viene realizando en dicho territorio, y a los que ya se ha aludido anteriormente, permitieron incluir en el Catálogo las cuevas y las simas valencianas que albergan flora de interés y que son merecedoras de medidas de protección (Herrero-Borgoñón 2002).

Referencias

- Blatnik, M., Culver, D.C., Gabrovšek, F., Knez, M., Kogovšek, B., Kogovšek, J., Liu, H., et al. 2020. Changing Perspectives on Subterranean Habitats. En: Knez, M. et al. (eds.), *Karstology in the Classical Karst. Advances in Karst Science*, pp. 183-205. Springer Nature Switzerland AG, Cham, Suiza.
- Buzjak, S., Vrbek, M. 2001. Speleobotanical research into three caves on the island of Rab (Croatia). *Natura Croatica* 10 (3): 185–196.
- Cong, M., Zhu, T., Li, Y., Yang, W., Wei, Y. 2023. Ancient ecological disaster site is now a refuge: bryophyte diversity in volcanic lava caves of Jingpo Lake World Geopark. *Diversity* 15, 842. <https://doi.org/10.3390/d15070842>
- Cubbon, B.D. 1976. Cave Flora. En: Ford, T.D., Cullingford, C.H.D. (eds.), *The Science of Speleology*, pp. 423-452. Academic Press, London, Reino Unido.
- Decreto 65/2006, de 12 de mayo, por el que se desarrolla el régimen de protección de las cuevas y se aprueba el Catálogo de Cuevas de la Comunidad Valenciana. *DOG* núm. 5261 de 18.05.2006. <https://dogv.gva.es/es/eli/es-vc/d/2006/05/12/65/>
- Directiva 1992/43/CEE, de 21 de mayo, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. [DOUE-L-1992-81200](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:31992L0043)
- Dobat, K. 1966. Die kryptogamenvegetation der höhlen und halbhöhlen im bereich der Schwäbischen Alb. *Abhandlungen zur Karst- und Höhlenkunde Reihe E, Botanik* 3: 1-153.
- Dobat, K. 1970. Considérations sur la végétation cryptogamique des grottes du Jura Souabe (Sud-ouest de l'Allemagne). *Annales de Spéléologie* 25 (4): 871-907.
- Dobat, K. 1977. Zur Ökogenese und Ökologie der Lampenflora deutscher Schauhöhlen. En: Frey, W., Hurka, H., Oberwinkler, F. (eds.), *Beiträge zur Biologie der niederen Pflanzen*, pp.177-215. Fischer Verlag, Stuttgart, Alemania.
- Douglas, E.J. 1938. The speleobotany of Wookey Hole Cave, Somerset. *Caves and Caving* 1(4): 142-154.
- Fiedler, S., Buzjak, N. 1997. Speleobotanical characteristics of the Medjame ponor. En: Jeannin, P.-Y. (ed.), *Proceedings of the 12th International Congress of Speleology volume 3: 301-303. KIP Talks and Conferences* 123.
- Fiol, L. 1995. Flora de les entrades de les cavitats de Mallorca. *Endins* 20: 145-153.
- Gabriel, R., Pereira, F., Borges, P.A.V., Constância, J.P. 2004. Indicators of conservation value of Azorean caves based on its bryophyte flora at the entrance. *Association for Mexican Cave Studies Bulletin 19 / Sociedad Mexicana de Exploraciones Subterráneas Boletín* 7: 114-118.
- García-Fernández, M.E., Aboal, M. 2011. *Cyanidium caldarium* (Tilden) Geitler (Cyanidiaceae, Cyanidiphyceae) nueva cita para la flora algal continental española. *Acta Botanica Malacitana* 36: 164-169.
- Gèze, B. 1976. *La espeleología científica*. Ediciones Martínez Roca. Barcelona, España.
- Ginard, A., Vicens, D., Rosselló, J.A., Pons, G.X., Mir-Gual, M., Pla, V., Crespi, D., et al. 2010. Pteridofits i briòfits de les cavitats de la serra de Na Burguesa (Serra de Tramuntana, Mallorca). *Endins* 34: 69-86.
- Ginés, A., Ginés, P. 1992. Principals característiques climàtiques des Clot des Sero (Calvià, Mallorca). *Endins* 17-18: 37-42.
- González, J.M., Losada, A., Martín, J.L. 1990. Flora briológica de las cavidades volcánicas de las Islas Canarias: El Hoyo de la Sima (La Palma). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 46(2): 433-436.
- Gracia, C.A. 1974a. *Geitleria calcarea* Friedmann nueva alga cavernícola para España. *Speleon* 21: 133-136.

- Gracia, C.A. 1974b. Consideraciones teóricas y experimentales sobre algunos problemas que plantea el estudio de la vegetación cavernícola. *Comunicaciones del IV Simposium de Bioespeleología*, pp. 107-111. Escola Catalana d'Espeleologia - Grup Espeleològic Pedraforca. Barcelona, España.
- Herrero-Borgoñón, J.J. 1985. La distribución de la luz en la entrada de las cavidades subterráneas. *Lapiaz* 14: 15-20.
- Herrero-Borgoñón, J.J. 1986. *La flora de las simas valencianas. Contribución a su estudio*. Federación Territorial Valenciana de Espeleología. Valencia, España.
- Herrero-Borgoñón, J.J. 2002. Conservación de la flora de las cavidades subterráneas valencianas. *Conservación Vegetal* 7: 14.
- Herrero-Borgoñón, J.J. 2003. Importancia de las cavidades subterráneas para la conservación de la flora en ambientes mediterráneos. *Boletín de la Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst* 4: 6-11.
- Herrero-Borgoñón, J.J., Mateo, G. 1984. Sobre la presencia de *Asplenium scolopendrium* y *A. sagittatum* en las simas valencianas. *Folia Botanica Miscellanea* 4: 7-14.
- Herrero-Borgoñón, J.J., Puche, F. 1987. Contribución al conocimiento de la brioflora de las simas valencianas. *Lazaroa* 10: 277-281.
- Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana. [BOE-A-1995-3325](#)
- Maheu, J. 1906. Contribution a l'étude de la flore souterraine de France. *Annales des Sciences Naturelles, Botanique* 9 (3): 1-189.
- Mammola, S. 2018. Finding answers in the dark: caves as models in ecology fifty years after Poulson and White. *Ecography* 41: 1-21.
- Monro, A.K., Bystriakova, N., Fu, L., Wen, F., Wei, Y. 2018. Discovery of a diverse cave flora in China. *PLoS ONE* 13(2): e0190801.
- Pérez-Obiol, R., Sáez, L., Yll, E.I. 2003. Vestigis florístics postglacials a les Illes Balears i dinàmica de la vegetació holocènica. *Orsis* 18: 77-94.
- Pokorny, A. 1853. Ueber die unterirdische flora der karst-höhlen (Kurzbericht). *Verhandlungen des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien* 3: 114-116.
- Pokorny, A. 1854. Zur flora subterranea der karst-höhlen. En: Schmidl, A. (ed.) *Die grotten und höhlen von Adelsberg, Lueg, Planina und Laas*, pp: 221-229. In Commission bei Wilhelm Braumüller, Wien, Austria.
- Prous, X., Lopes Ferreira, R., Jacobi, C.M. 2015. The entrance as a complex ecotone in a neotropical cave. *International Journal of Speleology* 44 (2): 177-189.
- Robledo, P.A., Durán, J.J., Garay, P., Gracia, J. 2009. 8310 Cuevas no explotadas por el turismo. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid, España.
- Rosal, Y. Del (coord.) 2017. *Análisis, impacto y evolución de los biofilms fotosintéticos en espeleotemas. El caso de la Cueva de Nerja (Málaga, España)*. Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja. Nerja, España.
- Rosselló, J.A., Ginés, A. 1980. Introducció a la brioflora dels avencs mallorquins. *Endins* 7: 27-35.
- Rosselló, J.A., Pericàs, J. 2011. La flora de les cavitats càrstiques de les balears: què en sabem?. *Endins 35 / Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears* 17: 237-240.
- Scopoli, J.A. 1772. *Plantae subterraneae descriptae et delineatae. Dissertationes ad scientiam naturalem pertinentes I*. Praga, República Checa.
- Serrano, A. 2013. Caracterización ecológica de *Phyllitis scolopendrium* (L.) Newman orientado a su conservación en la Comunidad Valenciana. *Lapiaz Monográfico* 5-6: 1-183.
- Sguazzin, F. 2004. Contributo alla conoscenza della speleoflora della Jama Dimnice (Grotta del Fumo) (Slovenia): briofite raccolte nel pozzo di accesso (Velike Dimnice) alla grotta. *Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"* 40: 107-116.
- Sguazzin, F., Polli, S. 2011. Briofite nell'antro di Casali Neri (grotta sul Monte San Michele, 326/450 VG). Contributo alla conoscenza della speleoflora del Carso Isontino. *Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"* 43: 103-115.
- Tosco, U. 1959. Contributi alla conoscenza della vegetazione e della flora cavernicola italiana. *Le Grotte d'Italia* 3 (2): 37-70.
- Vandel, A. 1964. *Bioespeleologie: la biologie des animaux cavernicoles*. Gauthier-Villars Éditions. Paris, Francia.
- Wynne, J.J., Howarth, F.G., Mammola S., Ferreira, R.L., Cardoso, P., Lorenzo, T. Di, Galassi, D.M.P., et al. 2021. A conservation roadmap for the subterranean biome. *Conservation Letters* 14: e12834.