TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
DE LA CUEVA DE NERJA

Núm. 2

V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA

FUNDACIÓN PÚBLICA DE SERVICIOS CUEVA DE NERJA, 2024

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
DE LA CUEVA DE NERJA

Núm. 2

V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA

Libro de Actas

FUNDACIÓN PÚBLICA DE SERVICIOS CUEVA DE NERJA, 2024

© Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja

ArdalesTur Ediciones

Fotos y textos de la obra:
Los autores

Edita:
Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja

Editores científicos:
Yolanda Del Rosal Padial, Luis-Efrén Fernández Rodríguez y Cristina Liñán Baena

Diseño y Maquetación:
Antonio Aranda Cruces

Impresión y encuadernación:
ArdalesTur Ediciones

I.S.B.N.: 978-84-124865-8-2

Depósito Legal: MA-

EDITORES CIENTÍFICOS

Yolanda Del Rosal Padial
Luis-Efrén Fernández Rodríguez
Cristina Liñán Baena

25 ANIVERSARIO 1999 - 2024
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
FUNDACIÓN CUEVA DE NERJA

Presidente
Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja
D. Javier Salas Ruiz

Vicepresidente Primero
Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja
D. José Alberto Armijo Navas

Vicepresidente Segundo
Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja
D. Francisco Salado Escaño

Gerente
Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja
D. José María Domínguez Pérez

25 ANIVERSARIO 1999 - 2024
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
FUNDACIÓN CUEVA DE NERJA

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

ÍNDICE

Pág. 08 • **Presentación**
10 • **Prólogo**

12 • **Comunicaciones**

14 • Biodiversidad en el Sistema Hundidero-Gato (Málaga). Actualización del catálogo faunístico.
22 • Las Reservas Entomológicas del Parque Natural y Reserva de la Biosfera de las Sierras de Cazorla, Segura y las Villas (Jaén). Las cavidades como ejemplo de conservación de la biodiversidad del medio subterráneo.
30 • Pselafidos hipogeos de Andalucía (Coleoptera, Staphylinidae, Pselaphinae).
38 • Evaluación experimental de la capacidad de *Lagariella colominasi* (Zariquiey, 1924) de hacer frente al cambio climático.
48 • Biodiversidad ficológica de la Cueva de Nerja bajo diferentes condiciones de cultivo.
56 • Apuntes sobre la divulgación de la biología subterránea en Mallorca (Islas Baleares), cuna de la bioespeleología.
68 • La investigación biológica como herramienta para la conservación, salubridad y conocimiento de la Cueva de Nerja (Málaga).
76 • Efectos de la luz en la fotosíntesis y síntesis de ficocianina en *Cavernulicola chilensis* (Rhodophyta).
86 • *Plusiocampa baetica*, el frágil hexápodo primitivo de la Cueva de Nerja (Málaga).

94 • **Resúmenes**

96 • Limitado potencial de rescate evolutivo frente al calentamiento global en la fauna subterránea.
98 • Fauna asociada a las cavernas graníticas de O Folón y A Trapa (Pontevedra).
100 • Dinámica poblacional de la única colonia de hibernación en la península ibérica de murciélago ratonero mediano (*Myotis blythii*) y murciélago ratonero grande (*Myotis myotis*).

Pág. 102 • Reflexiones sobre la aplicación de criterios UICN a las especies de invertebrados subterráneos.
104 • A GIS-based regionalization of the Iberian Peninsula to study terrestrial subterranean biodiversity: Diplura as a validation taxón.
106 • Sistema central y su potencial para el estudio bioespeleológico.
108 • Impacto de la reducción de la humedad relativa en la tolerancia térmica de coleópteros subterráneos.
110 • Los dipluros (artrópodos hexápodos) de cuevas y simas en las Béticas.
114 • Una nueva víctima de la crisis climática: la fauna de la Cova de les Meravelles de Alzira, València.
116 • Colonization patterns of subterranean habitats by the Cixiidae in La Réunion Island (Hemiptera: Fulgoromorpha) suggest both extrinsic and intrinsic drivers for cavernicoly.
118 • Patrones de riqueza, rareza y endemicidad de la fauna troglobia en Cataluña: implicaciones para su conservación.
120 • Descubriendo las planarias estigobias de la península ibérica: ¿un nuevo género, o una nueva especie de Cataluña? (Tricladida: Planaroidea).
122 • *Barcoding*. Fauna hipogea en los parques naturales de la DIBA.
124 • Diversidad y origen de la fauna hipogea terrestre en Canarias.
126 • Diversidad oculta en el género *Iberozospeum* Jochum, Kneubühler, Prieto & Neubert, 2022 (Gastropoda: Ellobiidae), un género endémico de la región cantabro-pirenaica.
128 • Nuevo registro de *Anapistula* (Gertsch 1941) (Araneae: Araneomorphae) en Europa con la descripción de una especie nueva.
130 • La dimensión vertical de la conservación: un plan rentable para incorporar los ecosistemas subterráneos en las agendas de biodiversidad y cambio climático post-2020 en Europa (Proyecto DarCo).
132 • Proyecto FRAGGLE: Prediciendo el futuro de la biodiversidad subterránea desde una perspectiva experimental.
134 • Palpígrados en el Sistema Ibérico.
136 • La fauna cavernícola de las sierras interiores del Sistema Ibérico: desentrañando su riqueza biológica.

PRESENTACIÓN

La Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja cuenta, entre sus fines, con la investigación, difusión y conservación del Patrimonio Natural y Cultural de la cueva y de su entorno. Tras el descubrimiento de la cavidad en 1959, la arqueología y la geología fueron las disciplinas que dirigieron los primeros trabajos de investigación, pero pronto la biología ocupó su lugar como ciencia necesaria para la conservación de este excepcional medio subterráneo. No en vano, en 1961 el investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, D. Antonio Cobos, describió el coleóptero *Platyderus speleus*, primera especie endémica de la cavidad y una de las primeras especies troglobias descrita en Andalucía. Desde entonces y hasta la actualidad, biología, arqueología y geología constituyen los pilares de un amplio y ambicioso trabajo de investigación interdisciplinar en la Cueva de Nerja, coordinado y realizado en su mayor parte por el Instituto de Investigación, bajo la tutela de su Consejo Científico Asesor. Sus resultados ofrecen las herramientas necesarias para el diseño de un sistema de gestión que permite compatibilizar la visita turística de la cueva con su adecuada conservación.

En el ámbito de la difusión, la Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja auspicia, colabora y financia diferentes eventos divulgativos y científicos que permiten acercar la ciencia a toda la sociedad, a través de diferentes actividades específicamente diseñadas y adaptadas al público diverso al que se dirigen, desde especialistas hasta escolares o público general. A través de estas actividades conseguimos generar sentimientos de respeto y protección hacia el medio subterráneo, en general, y hacia la Cueva de Nerja, en particular, una de nuestras mayores recompensas al trabajo desempeñado.

Por este motivo, hemos sido anfitriones y organizadores del V Encuentro Ibérico de Biología Subterránea, celebrado en el Museo de Nerja durante los días 15, 16 y 17 de noviembre de 2024. Estas jornadas de divulgación científica han conseguido reunir tanto a especialistas como a aficionados del medio subterráneo, quienes han podido compartir, analizar y debatir los resultados de sus trabajos e investigaciones al amparo de un doble objetivo común, por un lado, avanzar en el conocimiento científico de estos excepcionales ecosistemas, auténticos laboratorios subterráneos que permiten investigar, entre otros, temas tan diversos como la biodiversidad, la lucha contra el cambio climático, la búsqueda de nuevas sustancias bioactivas o la cultura de nuestros antepasados de la prehistoria y, por otro lado, contribuir a su adecuada protección, acorde con las presiones antrópicas y naturales a las que se encuentran sometidos en la actualidad.

Fruto de este encuentro surge este volumen, el segundo de la serie Trabajos del Instituto de Investigación de la Cueva de Nerja, que reúne el conjunto de comunicaciones presentadas en el evento y en el que ha participado un amplio número de investigadores procedentes de diferentes Universidades, centros de investigación y asociaciones distribuidas por toda la geografía peninsular. Sirvan estas líneas como agradecimiento a su esfuerzo e implicación con la conservación de nuestro patrimonio subterráneo.

Javier Salas Ruiz

Presidente de la Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja

Fotografía: Mariano Ibánez Heredia

PRÓLOGO

La riqueza de fauna subterránea en la región íbero-balear es remarcable, no solo por la gran diversidad de especies adaptadas a este medio tan peculiar y a su vez variado en hábitats, sino también por la pluralidad de zonas biogeográficas que hay en ella, conformando una serie de geas, faunas y floras de distinto origen y composición. Si a ello añadimos el ámbito insular macaronésico, tan próximo pero tan distinto al peninsular, el patrimonio biospeleológico de las dos naciones ibéricas queda aún más enriquecido. Todo ello ha propiciado que desde hace más de siglo y medio se despertara en la comunidad científica el interés por nuestra biota, inicialmente por parte de visitantes europeos y progresivamente por estudiosos locales, que poco a poco iban desvelando la existencia de especies extraordinarias. Como en muchos otros lugares, la exploración iba dirigida inicialmente a la prospección de las cuevas, el medio de más fácil acceso y con mayor atractivo aventurero y deportivo, ampliándose luego al estudio de otros medios subterráneos que han ido descubriéndose más recientemente. Los núcleos de actividad biospeleológica se formaban inicialmente en las proximidades de zonas cársticas, pero el avance de centros universitarios y de investigación, y la mejora de medios de comunicación y transporte han permitido la creación de equipos de trabajo por toda nuestra geografía. Como en toda parcela de la ciencia, y a pesar del avance de las comunicaciones telemáticas, las reuniones científicas en torno a la biología subterránea son convenientes e incluso necesarias. Hasta hace pocas décadas, los relativamente escasos especialistas ibéricos sobre el tema apenas organizaban algunas reuniones esporádicas, y tenían que acudir a los "Colloques" que celebraba la *Société de Biospéologi*e en Francia desde su fundación en 1979. La celebración del Congreso Internacional de Espeleología en Barcelona (1986) sirvió de acercamiento entre científicos europeos y americanos, y pronto la mencionada Société francesa se reconvertió en *International Society for Subterranean Biology*, que solo ha interrumpido una vez la cadencia bianual de congresos, durante la pasada pandemia. Cuando el aumento de biospeléologos ibéricos fue alcanzando la masa crítica necesaria, por fin colegas de Valencia organizaron en 2009 el I Encuentro de Biología Subterránea, que fue todo un éxito y avanzadilla para que fueran celebrándose bianualmente los siguientes: Aveiro en 2011, Barcelona en 2013, Sóller en 2015 ... pero de nuevo se encasquilló el engranaje. Afortunadamente, nuestros colegas andaluces han cogido el testigo tras nueve años de sequía, y nos brindan ahora este V Encuentro Ibérico de Biología Subterránea en Nerja, sede de una de las cuevas más renombradas del ámbito hispano-lusitánico. Se han inscrito para este Encuentro 60 participantes, y va a presentarse un total de 29 ponencias que abarcan temas sobre taxonomía, fauna, flora, microbiota, ecología, evolución y, cómo no, dos aspectos candentes de hoy en día: los efectos del cambio climático y la conservación del medio subterráneo. Agradecemos a los organizadores su iniciativa, y deseamos que sirva de acicate para reemprender la continuidad de estos encuentros, que dependerá no solo de la aparición de comités de organización dispuestos a la tarea, sino también de la afluencia participativa de la comunidad científica.

Fotografía: Mariano Ibánez Heredia

Pedro Oromí Masoliver

Catedrático de Zoología

COMUNICACIONES

Fotografía: Mariano Ibánez Heredia

BIODIVERSIDAD EN EL SISTEMA HUNDIDERO-GATO (MÁLAGA). ACTUALIZACIÓN DEL CATÁLOGO FAUNÍSTICO

García López, V.[1]

1. Universidad de Sevilla, Departamento de Zoología, Laboratorio de Entomología Aplicada, Avenida de Reina Mercedes, 6, 41012, Sevilla. garikora@gmail.com

El Sistema Hundidero-Gato del P.N. Sierra de Grazalema es una de las mayores travesías espeleológicas de Andalucía. Cuenta con numerosas galerías donde se refugian importantes colonias de distintas especies de murciélagos y una gran cantidad de fauna invertebrada. El presente trabajo aporta un catálogo con 48 taxones, siendo los murciélagos y arácnidos los grupos zoológicos más representativos.

Palabras clave: catalogación, España, fauna cavernícola, Málaga, Sistema Hundidero-Gato.

Introducción

La sierra de Líbar conforma una unidad topográfica y geológica con uno de los relieves más peculiares y accidentados de Andalucía meridional. Dentro de esta, el valle del Gaduares da comienzo en la sierra del Endrinal, recorriendo la faja cretácica donde se ubica el Sistema Hundidero-Gato entre los términos municipales de Montejaque y Benaoján, en el corazón del Parque Natural de la Sierra de Grazalema (SÁENZ, 1957; GUERRERO, 2015). Este entorno presenta un relieve cuyas cumbres montañosas rara vez alcanzan los 1.000 m con respecto a los 600 m de base que tiene el río. Según la Guía de Monumentos Naturales de Andalucía de 2024, son dos las catalogaciones que recibe ese enclave: Monumento Natural Cueva del Gato, considerada también como Bien de Interés Cultural por el Ayuntamiento de Benaoján, y Monumento Natural Cueva del Hundidero. Este complejo es una de las mayores travesías de Andalucía, además de uno de los sistemas endokársticos más conocidos de la Cordillera Bética. Los accesos al sistema se encuentran conectados por un pasillo de más de 4,5 km, formando parte de una red de más de 10 km de galerías donde los estudios geomorfológicos, hidrogeológicos y espeleológicos vienen realizándose desde hace décadas (LECHUGA et al., 2017; VALENZUELA, 2016).

Fotografía: Manu Guerrero

Las cuevas andaluzas han sido durante años objeto de estudios e investigaciones. El Sistema Hundidero-Gato no ha estado exento de ellos datándose las primeras incursiones en 1865, de la mano de un entomólogo alemán llamado Lucas von Heyden, afanado en encontrar coleópteros. Posteriormente, le siguieron otros investigadores, destacándose las campañas de los grupos GE Telefónica de Madrid y Geos de Sevilla, con la descripción del crustáceo *Proasellus solanasi* Henry y Magniez (Isopoda, Asellidae), como resultado de una expedición de la S.I.R.E de Barcelona. Por otro lado, de las incursiones del grupo de espeleología "Speleo-Nederland" en la cual se efectúa la descripción del araneido *Iberoneta nasewoa* Deelman-Reinhold (Araneae, Linyphiidae), el anfípodo *Pseudoniphargus stocki* Notenboom (Amphipoda, Pseudoniphargidae) y el gasterópodo *Iberhoratia gatoa* (Boeters) (Pulmonata, Hydrobiidae) (GARCÍA-LÓPEZ et al., 2020).

El Sistema Hundidero-Gato no solo destaca por su fauna invertebrada, sino que también forma parte de uno de los refugios de murciélagos más importantes de Andalucía, debido a los niveles poblacionales alcanzados, así como a la diversidad de especies (BOYERO & TEJEDOR, 2015). Este sistema presenta una de las mayores poblaciones de invernada de *Miniopterus schreibersii* (Kuhl) en Andalucía e incluso de la península ibérica, llegando a contabilizarse hasta 100.000

Figura 1. Izquierda, entrada de Hundidero. Entrada de Gato a la derecha. Fotografías: Manu Guerrero.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

individuos (QUETGLAS et al., 2002). En total se cuentan 11 especies de murciélagos que hacen uso de la cavidad, ya sea durante la época de cría o en la de invernada (BOYERO & TEJEDOR, 2015). Esto permite al lector hacerse una idea de la importancia de este complejo desde el punto de vista de la conservación.

Con la elaboración del presente catálogo, se ha pretendido recopilar toda la información disponible sobre la fauna cavernícola asociada al Sistema Hundidero-Gato hasta la actualidad. Para ello, se utilizan diversos servidores *online* de búsqueda bibliográfica y se revisan las publicaciones y catalogaciones que hacen referencia al sistema.

Resultados

El catálogo recoge un total de 48 taxones, donde los taxónomos solo han podido llegar a determinar el género en siete ocasiones en total. Dentro del grupo de los arácnidos cavernícolas de las provincias de Cádiz y Málaga se destacan un total de 23 especies suscitando algunas de ellas una atención especial como es el caso de *Iberoneta nasewoa* que presenta una evidente despigmentación, alargadas extremidades y la reducción del tamaño ocular (BARRIENTOS et al., 2019; BARRIENTOS, 2023). Con respecto a los coleópteros, se resalta a *Phloeocharis manu* Hernando y

García-López, pequeño estafilínido de ojos reducidos, despigmentado y con alargamiento apendicular (HERNANDO & GARCÍA-LÓPEZ, 2016) algo similar a lo ocurrido en el caso anterior. Las últimas descripciones en el sistema datan de 2021, en concreto una especie de colémbolo, *Entomobrya virginiae* Arbea, y dos especies de amebas, *Diffugia alhadiqa* y *Heleopera baetica*, ambas descritas por Soler-Zamora, González-Miguéns y Lara (ARBEA et al., 2021; SOLER-ZAMORA et al., 2021). Estas dos últimas se excluyen del catálogo por su carácter microbiológico. Dicho listado se presenta en la Tabla 1 a continuación.

Los órdenes que más géneros aportan son Chiroptera y Araneae, contribuyendo ambos por igual con un total de 11, lo cual supone un 45,83 % del total de taxones. Esto puede venir explicado por una mayor detectabilidad de algunos arácnidos y, por otro lado, en el caso de los quirópteros, por los continuados estudios efectuados en este grupo a lo largo de los años. A estos grupos le siguen de cerca los coleópteros, principalmente los carábidos, estando el resto de los grupos

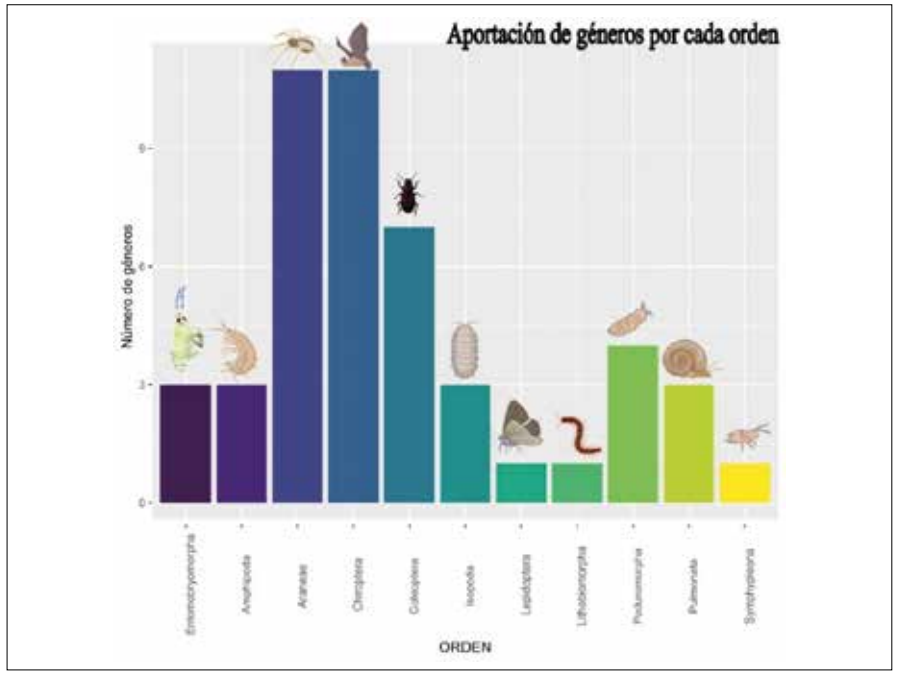


Figura 2. Relación de géneros que aporta cada orden al conjunto del catálogo.

Orden Araneae Clerck, 1757	
Familia Agelenidae C.L.Koch, 1837	*Tegenaria parietina* (Fourcroy, 1785)
Familia Dysderidae C.L. Koch, 1837	*Dysdera bicornis* Fage, 1931
	Rhode scutiventris Simon, 1882
Familia Hahniidae Bertkau, 1878	*Mastigusa arietina* (Thorell, 1871)
Familia Linyphiidae Blackwall, 1859	*Diplocephalus* sp.
	Iberometa masevoa Deeleman-Reinhold, 1984
	Tenuiphantes sp.
Familia Liocranidae Simon, 1897	*Liocranum majus* Simon, 1878
Familia Segestriidae Simon, 1893	*Segestria senoculata* (Linnaeus, 1758)
Familia Tetragnathidae Menge, 1866	*Metellina merianae* (Scopoli, 1763)
Familia Uloboridae Thorell, 1869	*Hyptiotes paradoxus* (C.L.Koch, 1834)
Orden Amphipoda Latreille, 1816	
Familia Gammaridae Leach, 1814	*Echinogammarus* s.sp.
Familia Niphargidae Bousfield, 1977	*Niphargus* sp.
Familia Pseudoniphargidae Karaman, 1993	*Pseudoniphargus stocki* Notenboom, 1987
Orden Isopoda Latreille, 1817	
Familia Asellidae Latreille, 1802	*Proasellus salamasi* Henry & Magnez, 1972
Familia Porcellionidae Brandt & Ratzeburg, 1831	*Porcellio dilatatus* Brandt, 1833
Familia Trichoniscidae G.O. Sars, 1899	*Trichoniscus pulsillus provisorius* Racovitza, 1908
Orden Lithobiomopha Pocock, 1895	
Familia Lithobiidae Newport, 1844	*Lithobius molasi* Matic, 1968
Orden Lepidoptera Linnaeus, 1758	
Familia Noctuidae Latreille, 1809	*Mormo maura* (Linnaeus, 1758)
Orden Coleoptera Linnaeus, 1758	
Familia Carabidae Latreille, 1802	*Laemostenus (Laemostenus) complanatus* Dejean, 1826
	Laemostenus (Ceuthoethenes) mauritanus polyphemus Rambur, 1837
	Nebria rubicunda (Quensel, 1806)
	Trechus fulvus Dejean, 1891
Familia Leiodidae Fleming, 1891	*Catops andalusicus* Heyden, 1870
Familia Staphylinidae Latreille, 1802	*Othius piceus* Scriba, 1870
	Phloeocharis manu Hernando y García-López, 2016
Orden Pulmonata Cuvier in Blainville, 1814	
Familia Hydrobiidae Troschel, 1857	*Iberhoratia gatoa* (Boeters, 1980)
	Milesana schuelei (Boeters, 1981)
Familia Oxychilidae Hesse in Geyer, 1927 (1879)	*Oxychilus* sp.
Orden Poduromorpha Börner, 1913	
Familia Hypogastruridae Börner, 1906	*Ceratophysella* sp.
	Hypogastrura sp.
	Mesogastrura ojcoviensis (Stach, 1919)
	Xenylla maritima Tullberg, 1869
Orden Entomobryomorpha Börner, 1913	
Familia Isotomidae Schäffer, 1896	*Folsomides* cf. *ayllonensis* Simón & Luciáñez, 1900
Familia Entomobrydae Schäffer, 1896	*Entomobrya virginiae* Arbea, 2021
	Lepidocyrtus flexicollis Gisin, 1965
Orden Symphypleona Börner, 1901	
Familia Sminthuridídae Börner, 1906	*Sphaeridia pumilis* (Krausbauer, 1898)
Orden Chiroptera Blumenbach, 1779	
Familia Rhinolophidae Gray,1825	*Rhinolophus ferrumequinum* Schreber, 1774
	Rhinolophus hipposideros (Bechstein, 1800)
	Rhinolophus mehelyi (Matschie, 1901)
	Rhinolophus euryale (Blasius, 1853)
Familia Vespertilionidae Gary, (1821)	*Myotis myotis* (Borkhausen, 1797)
	Myotis blythii (Tomes, 1857)
	Myotis emarginatus (E.Geoffroy, 1806)
	Myotis daubentonii (Kuhl, 1817)
	Plecotus austriacus (Fisher, 1829)
	Miniopterus schreibersii (Kuhl, 1817)
Familia Molossidae (Gervais en de Castelnau, 1855)	*Tadarida teniotis* (Rafinesque, 1814)

Tabla 1. Relación de taxones listados en función del orden y la familia a la que pertenecen.

representados de forma más equitativa. Los órdenes que menos géneros aportan al catálogo son: Lepidoptera, Lithobiomorpha y Symphypleona, lo cual supone un 6,25% del total de taxones (Figura 2).

El conocimiento faunístico que se tiene del Sistema Hundidero-Gato, en cuanto a artropodofauna se refiere, se concentra mayoritariamente en la entrada de Hundidero, lo cual plantea la cuestión de si dicho conocimiento está completo. Para establecer medidas de gestión adecuadas a las necesidades de este bioma, se hace imprescindible incrementar los conocimientos que tenemos del mismo. Queda mucho por recorrer entre las sombras de sus galerías, más aún por descubrir y describir.

Bibliografía

- ARBEA, J.I., V. GARCÍA LÓPEZ, F.J. SORIA IGLESIAS & P. ABELLÁN RÓDENAS, 2021. Collembola from Hundidero-Gato Cave in Southern Spain, with the description of a new species of Entomobrya Rondani, 1861 (Collembola, Entomobryidae). Subterranean Biology, 38: 77-90. doi: 10.3897/subtbiol.38.66254.
- BARRIENTOS, J.A., 2023. Araneidos, arácnidos entretejiendo telas, 235-256. En: Sendra A. (Coord.). 2023. Habitantes de la oscuridad : Fauna Ibero-balear de las cuevas. Sociedad Entomológica Aragonesa, 752 pp.
- BARRIENTOS, J.A., V. GARCÍA-LÓPEZ & F.J. SORIA, 2019. Arañas (Arachnida, Araneae) del Complejo Hundidero-Gato (Málaga, España). Revista Ibérica de Aracnología 35: 3-8.
- BOYERO, J. & O. TEJEDOR, 2015. Investigaciones sobre murciélagos en Hundidero-Gato. Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental, 28 (1): 311-320.
- CONSEJERÍA DE SOSTENIBILIDAD, MEDIO AMBIENTE Y ECONOMÍA AZUL. Guía de los monumentos naturales de Andalucía, 115-116. Edición 2024.
- GARCÍA-LÓPEZ, V., F.J. SORIA, F.J. GARCÍA-ALGABA & T. PÉREZ-FERNÁNDEZ, 2020. Los invertebrados del sistema Hundidero-Gato (Montejaque-Benaoján, Málaga). Catálogo provisional. Gota a Gota, 20: 73-79.
- GUERRERO SÁNCHEZ, M. 2015. El Sistema Hundidero-Gato. Estudio, Descripción, Historia. Málaga, 175 pp.
- HERNANDO, C. & V. GARCÍA-LÓPEZ, 2016. Un nuevo Phloeocharis Mannerheim, 1830 encontrado en el medio subterráneo del sur de España (Coleoptera: Staphylinidae: Phloeocharinae). Heteropterus Revista de Entomología, 16(2): 125-131.
- LECHUGA, I., F.J.G., PRIETO, A. SUMA & P.D. DE COSMO, 2017. Evolución morfológica del río Gaduares y su relación con el sistema kárstico Hundidero-Gato (Sierra de Líbar, Málaga). Boletín de la Academia Malagueña de Ciencias, 19: 157-172.
- QUETGLAS, J., E. MIGENS & F. IBÁÑEZ, 2002. Los murciélagos cavernícolas del Parque Natural los Alcornocales y el porqué de las medidas compensatorias. Almoraima: Revista de Estudios Campogibraltareños, 27: 33-39.
- SÁENZ, J., 1957. La zona cárstica de Líbar. Revista de la Universidad de Oviedo, VII (1): 109-125.
- SOLER-ZAMORA, C., R. GONZÁLEZ-MIGUÉNS, A. GUILLÉN-OTERINO & E. LARA, 2021. Arcellinida testate amoebae as climate miner's canaries in Southern Spain. European Journal of Protistology, 81: 1-11. https://doi.org/10.1016/j.ejop.2021.125828.
- VALENZUELA, J.M.C., 2016. Complejo Hundidero-Gato. Mundo subterráneo: Revista de espeleología, 3, 10-11.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

LAS RESERVAS ENTOMOLÓGICAS DEL PARQUE NATURAL Y RESERVA DE LA BIOSFERA DE LAS SIERRAS DE CAZORLA, SEGURA Y LAS VILLAS (JAÉN). LAS CAVIDADES COMO EJEMPLO DE CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD DEL MEDIO SUBTERRÁNEO.

Pérez Fernández, T.[1], Quesada Molina, J.[2], Cuerda Fiestas, D.[2], Pérez Ruiz, A.[1]

1.Grupo de Espeleología de Villacarrillo (G.E.V.), Plaza 28 de Febrero, 5, 1º-2ª; 23300 Villacarrillo, Jaén. bioespeleologiaGEV@gmail.com
2.Junta de Andalucía, Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul, Parque Natural y Reserva de la Biosfera de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas (Jaén). C/ Martínez Falero, 11, 23470 Cazorla, Jaén. jesus.quesada@juntadeandalucia.es; david.cuerda@juntadeandalucia.es

En el presente artículo se pretende dar a conocer las cavidades con la figura de Reserva Entomológica que ya existen en el Parque Natural y Reserva de la Biosfera de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas, además de la solicitud que se realizará tras el V Encuentro Ibérico de Biología Subterránea a la Asociación española de Entomología (AeE) para otra nueva cavidad, fortaleciendo una vez la más la importancia del trabajo en común entre asociaciones espeleológicas, las administraciones y los colectivos científicos en pos de la investigación y la conservación del medio subterráneo.

Palabras clave: biología subterránea, conservación, cueva, espeleología.

Introducción

En el año 2012, la figura de "Reserva Entomológica" se crea por acuerdo de la Junta Directiva de la Asociación española de Entomología (AeE). Con esta figura se pretende apoyar e impulsar todo tipo de iniciativas de personas, organizaciones de naturaleza y administraciones en general que quieran desarrollar programas y proyectos de conservación y mejora de hábitats de invertebrados y en particular de artrópodos (GALANTE & TINAUT, 2018).

Tras el conocimiento por parte del Grupo de Espeleología de Villacarrillo (G.E.V.) de este proyecto, y sabiendo de la importancia de la biología subterránea en diversas cavidades del Parque Natural y Reserva de la Biosfera de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas, se decide, en colaboración con los Técnicos de Conservación y las Direcciones de dicho Parque Natural y de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, solicitar la figura citada en varios años a dos cavidades a la AeE: la Cueva Secreta del Sagreo y el Sistema de la Murcielaguina, ambas en la provincia de Jaén.

A partir de la organización del V Encuentro Ibérico de Biología Subterránea celebrado en Nerja (Málaga), se solicitará la inclusión de la Cueva del Jabalí como nueva Reserva Entomológica, por su elevado interés bioespeleológico y por la necesidad de la conservación subterránea.

La Cueva Secreta del Sagreo

La Cueva Secreta del Sagreo es una pequeña cavidad que se encuentra en el término municipal de La Iruela, a pocos metros de la Casa Forestal del Sagreo y a pocos kilómetros de la aldea de Burunchel, en plena Sierra de Cazorla (Figura 1). Tiene un desarrollo de 236 metros y alberga en su interior una colonia de murciélagos. Ha sido una cavidad que históricamente ha sido explorada y visitada por numerosos grupos de espeleología, científicos y bioespeleólogos de gran recorrido, como es el caso de los doctores Joaquín Mateu y Francisco Español en 1953 (PÉREZ FERNÁNDEZ & PÉREZ RUIZ, 2018).

En su interior alberga una riqueza biológica especialmente en

Fotografía: Toni Pérez Fernández

cuanto artrópodos muy singular, como es el caso del coleóptero carábido *Laemostenus (Antisphodrus) cazorlensis* (Mateu, 1953), el pseudoescorpión *Occidenchthonius cazorlensis* (Carabajal Márquez, García Carrillo y Rodríguez Fernández, 2001), el opilión *Nemastomella gevia* Prieto, 2004 y el ortóptero *Petaloptila carabajali* Barranco, 2004.

Con fecha 1 de agosto de 2013, se realiza la propuesta por parte del G.E.V. en colaboración con la administración competente (la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía), y con fecha 2 de octubre de 2014 se declara oficialmente como Reserva Entomológica por parte de la AeE. En un acto celebrado en el municipio jiennense de La Iruela, se oficializa este hecho con fecha 20 de noviembre de 2017 realizando una Jornada Técnica de Conservación de la Biodiversidad Subterránea.

Figura 1. Entrada a la Cueva Secreta del Sagreo.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

Sistema de la Murcielaguina

El Sistema de la Murcielaguina se encuentra ubicado en el término municipal de Hornos, en concreto en el Cerro de Hornos, en plena Sierra de Segura (Figura 2). Tiene en la actualidad dos entradas, una a la que se accede por una estrechez en modo vertical (Sima de la Murcielaguina) y otra prácticamente a pie, aunque con algo de desnivel (Cueva de la Murcielaguina). Con diferentes investigaciones espeleológicas por parte del G.E.V., se logra conectar interiormente ambas cavidades. En la actualidad cuenta con 5.112 metros de desarrollo y -80 metros de desnivel total (PÉREZ RUIZ, 2023), siendo una de las cavidades más importantes de la provincia de Jaén.

Además, en su interior también existe una colonia de murciéla-

Figura 2. Antonio Pérez Ruiz, Jesús Quesada Molina y Toni Pérez Fernández, tras poner la placa identificativa como Reserva Entomológica en la entrada del Sistema de la Murcielaguina.

gos de varias especies, todas ellas consideradas amenazadas y por tanto protegidas, y un yacimiento arqueológico datado del Neolítico tardío (PÉREZ FERNÁNDEZ et al., 2016). Como artrópodos de interés que alberga podemos encontrar al isópodo *Trichoniscus perezi* Garcia, 2008, el araneido *Domitius baeticus* López-Pancorbo & Ribera, 2011, los pseudoescorpiones *Occidenchthonius perezi* Carabajal Márquez, García Carrillo & Rodríguez Fernández, 2011 y *Neobisium (Ommatoblothrus) perezi* Carabajal Márquez, García Carrillo & Rodríguez Fernández, 2011, el ácaro oribátido *Damaeus gevi* Subías, 2012, el colémbolo *Pygmarrhopalites perezi* Arbea, 2013 y el himenóptero bracónido *Dinotrema cavernicola* Peris-Felipo, 2014, entre otras especies.

Con fecha 30 de agosto de 2019, se realiza la propuesta por parte del G.E.V. en colaboración con la administración competente (la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía), y con fecha 3 de marzo de 2022 se declara oficialmente como Reserva Entomológica por parte de la AeE. En un acto celebrado en el municipio jiennense de Hornos, se oficializa este hecho con fecha 16 de junio de 2023.

Cueva del Jabalí

La Cueva del Jabalí se encuentra ubicada en el término municipal de Santiago-Pontones, concretamente a pocos kilómetros de los núcleos poblacionales de Pontones y Poyotello (Figura 3). Es una cavidad prácticamente horizontal, con un desarrollo de 350 metros y un desnivel de -18 metros totales, con amplias galerías (PÉREZ RUIZ & PÉREZ FERNÁNDEZ, 2020).

En su interior también alberga una colonia de murciélagos y durante las investigaciones bioespeleológicas del G.E.V. se han localizado casi medio centenar de especies invertebradas, entre las que destacan los nematodos *Ablechroiulus spelaeus* Abolafia & Peña-Santiago, 2011 y *Nevadema nevadense* Álvarez-Ortega & Peña-Santiago, 2011, los araneidos *Domitius baeticus* López-Pancorbo & Ribera, 2011, *Leptoneta comasi* Ribera, 1978 y *Palludiphantes cortesi* Ribera & De Mas, 2003, el opilión *Nemastomella gevia* Prieto, 2004, el miriápodo diplópodo *Ceratosphys jabaliensis* Mauriès, 2013 y los coleópteros *Laemostenus (Antisphodrus) cazorlensis* (Mateu, 1953) y *Catops andalusicus* Heyden, 1870, entre otros muchos (Figura 4).

Ya dentro del Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas, se plantea como Conservación de los Recursos Naturales y Culturales (apartado 4.2.) y en concreto para la conservación de los hábitats, de la fauna y de la flora (apartado 4.2.3.), en el punto 19: *"El desarrollo de actuaciones de conservación en los refugios de quirópteros será prioritario en la cueva de la Murcielaguina, cueva Secreta o del Sagreo y cueva del Jabalí".* Esta es la premisa fundamental que desde el G.E.V. y la dirección del Parque Natural queremos tratar de implementar a partir de este encuentro, con independencia del orden en el que se vayan a realizar: en primer lugar, la búsqueda económica para el cierre perimetral de la entrada y la colocación de cartel informativo alusivo a su declaración como refugio entomológico; en segundo lugar, la señalización interior de los itinerarios de las personas que quieran realizar visita a su interior de carácter

Figura 3. Actual entrada de la Cueva del Jabalí.

Figura 4. ***Ceratosphys jabaliensis.***

deportivo (no olvidemos que, para la práctica de la espeleología, ya sea deportiva con o sin licencia federativa, o de investigación, es necesaria la autorización pertinente de la administración competente); y en tercer lugar, la solicitud de inclusión como Reserva Entomológica a la AeE.

Tras la ejecución de todas estas actuaciones, el compromiso es realizar una jornada técnica para informar a la ciudadanía y sensibilizar del porqué es necesaria la conservación subterránea de la Cueva del Jabalí.

Agradecimientos

Queremos agradecer a todos los espeleólogos y espeleólogas del Grupo de Espeleología de Villacarrillo (G.E.V.) que han participado en los estudios de biología subterránea del Parque Natural y Reserva de la Biosfera de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas, así como a taxónomos y especialistas por identificar, describir y publicar distintos trabajos sobre los hallazgos en el subsuelo jiennense, además de a los que han hecho posible que se nombraran estas cavidades como Reservas Entomológicas en el Parque Natural de las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y por parte de la Asociación española de Entomología (AeE).

Bibliografía

- GALANTE, E. & A. TINAUT, 2018. La Cueva Secreta del Sagreo y la protección de los artrópodos ibéricos. En: Pérez Fernández, T. y Pérez Ruiz, A. (Coord.), 2018. *La Cueva Secreta del Sagreo (La Iruela, Jaén)*. Grupo de Espeleología de Villacarrillo (G.E.V.) (ed.): 78-88.
- PÉREZ RUIZ, A., 2023. Actualización del catálogo de cavidades de la provincia de Jaén. *Gota a gota*, 29: 95-100. Grupo de Espeleología de Villacarrillo, G.E.V. (ed.).
- PÉREZ FERNÁNDEZ, T. & A. PÉREZ RUIZ, (coord.), 2018. *La Cueva Secreta del Sagreo (La Iruela, Jaén).* Grupo de Espeleología de Villacarrillo (G.E.V.) (ed.), 88 pp., Jaén.
- PÉREZ RUIZ, A. & T. PÉREZ FERNÁNDEZ (coord.), 2020. Santiago-Pontones, cuna de la Espeleología en Jaén. Grupo de Espeleología de Villacarrillo (G.E.V.) (ed.), 146 pp., Jaén.
- PÉREZ FERNÁNDEZ, T., A. PÉREZ RUIZ & J. PÉREZ FERNÁNDEZ, (coord.), 2016. *El Sistema de la Murcielaguina (Hornos, Jaén)*. Grupo de Espeleología de Villacarrillo (G.E.V.) (ed.), 156 pp., Jaén.

PSELÁFIDOS HIPOGEOS DE ANDALUCÍA (COLEOPTERA, STAPHYLIDAE, PSELAPHINAE)

Sánchez-Camacho, F.J.[1], Palencia, S.[1], Barranco, P.[1]

1. Universidad de Almería, Departamento de Biología y Geología, CECOUAL, CITE-IIB, Ctra. Sacramento, s/n, 04120 La Cañada, Almería. scf360@ual.es; pbvega@ual.es

En el transcurso de diferentes proyectos para el estudio de entomofauna en hábitats hipogeos (cuevas y medio subterráneo superficial -MSS-), se han capturado ejemplares pertenecientes a la subfamilia Pselaphinae Latreille, 1802, en varias provincias de Andalucía. Los pseláfidos son coleópteros de un tamaño muy pequeño (entre 0,5 y 5,5 mm) que habitan diversos ambientes: debajo de piedras y cortezas, musgo, cuevas, hojarasca forestal y en nidos de hormigas. En la península ibérica se han citado 252 especies, de las cuales 13 son troglobias. Para este estudio los sistemas de captura han sido diferentes según el tipo de fauna subterránea; para la fauna cavernícola se han empleado trampas de caída cebadas y captura directa. Se han recolectado 121 ejemplares en varias cavidades de diversas localidades de la provincia de Almería, así como de otras provincias andaluzas (Cádiz, Sevilla, Granada y Málaga). Estas especies pertenecen a los géneros *Tychobythinus* Ganglbauer, 1896 con 77 ejemplares recolectados que constituyen 4 nuevas especies y *Bryaxis* Kugelann, 1794, 44 ejemplares asignados a 5 especies. Las muestras del MSS han sido recolectadas en la Sierra de Gádor, Sierra de María (Almería) y Sierra Nevada (Granada) mediante estaciones de muestreo subterráneo que se colocaron en canchales. En este medio se han recolectado 170 ejemplares encuadrados en 4 géneros y 6 especies, que a su vez 5 son nuevas citas para Almería y otra constituye un nuevo taxón.

Palabras clave: Andalucía, cuevas, España, hipogeo, MSS, pseláfidos.

Fotografía: Mariano Ibánez Heredia

Introducción

Los hábitats subterráneos constituyen diversos espacios que incluyen el medio cavernícola, sus interconexiones, y el medio subterráneo superficial (MSS), entre otros (SENDRA et al., 2014). Las cuevas se caracterizan fundamentalmente por la ausencia de luz, alta humedad y pequeñas variaciones de temperatura por lo que son hábitats muy estables. A pesar de ello, presentan barreras para la colonización y el posterior movimiento de la fauna, lo que ha desembocado en adaptaciones morfológicas, troglomorfismos. Ello hace de la fauna cavernícola un atractivo objetivo de estudio, aunque existen dificultades debido a la inaccesibilidad para la toma de muestras o la heterogeneidad entre cavidades y las condiciones de estas (CULVER, 2006; BELDA-GARCÍA et al., 2014).

El MSS es un hábitat formado por una red de grietas, fisuras e intersticios que se desarrollan dentro de múltiples capas de depósitos detríticos ocasionados al disgregarse la roca madre (MAMMOLA et al., 2016), con características ecológicas similares a las de las cuevas (BAQUERO et al., 2017). Si bien se identifica como un hábitat único, que puede desempeñar el papel de un ecotono (GILGADO & ORTUÑO, 2015), proporcionando las condiciones necesarias para ser colonizados por la fauna subterránea, tanto por especies singulares con adaptaciones morfológicas y fisiológicas a la vida hipogea, como por aquellas provenientes de ambientes periféricos (MOSELEY, 2010; MAMMOLA et al., 2016).

La biología subterránea tiene como cuestión central la clasificación de los organismos que viven en hábitats subterráneos, según sus relaciones ecológicas y evolutivas como punto de partida para muchas otras preguntas (TRAJANO & CARVALHO, 2017). Entre la fauna de estos ambientes se encuentran los coleópteros de la subfamilia

Pselaphinae, Latreille, 1802. Los pseláfidos han sido clasificados en cuatro categorías según su distribución en la naturaleza: saprófitos, endogeos, cavernícolas y xenófilos (JEANNEL, 1950). Existen muchas especies de pseláfidos endógenos en la región mediterránea, pero pocos son troglobios verdaderos, habitando la parte profunda de las cuevas aunque algunas especies endogeas pueden verse en las entradas de éstas (JEANNEL, 1950). En la península ibérica se han citado 250 especies (ALONSO-ZARAZAGA, 2015), de las que 13 se han catalogado como especies que habitan cuevas exclusivamente (SALGADO et al., 2022; HERNANDO & PÉREZ, 2023). Si bien se han descrito algunos nuevos taxones en los últimos años.

El objetivo de este trabajo es identificar los pseláfidos del medio hipogeo a través de las muestras recogidas en diversas cuevas de Andalucía y el MSS de Almería y Granada.

Materiales y métodos

Zonas de estudio

Las cuevas en las que se han localizado pseláfidos se distribuyen por las Cordilleras Béticas de cinco provincias de Andalucía: Almería,

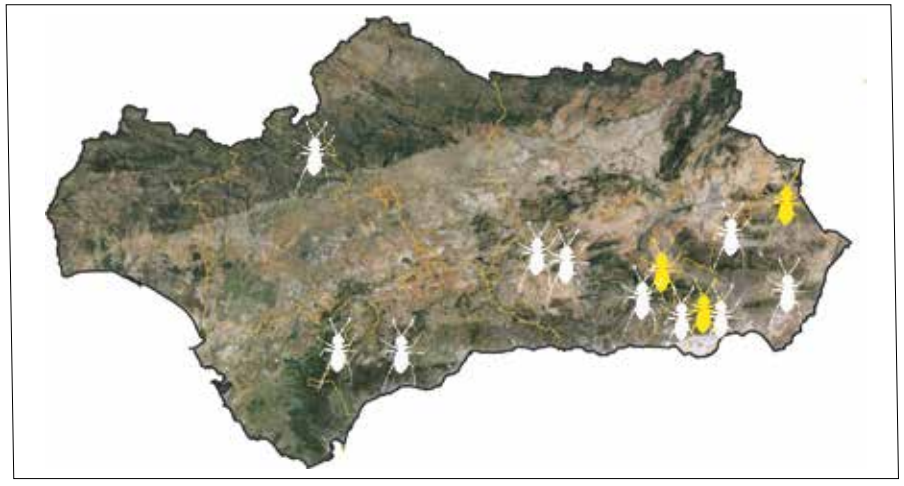


Figura 1. Localización de las zonas muestreadas en las que se han capturado pseláfidos. En blanco, ubicación de las cuevas y en amarillo, ubicación de los muestreos de MSS.

Cádiz, Sevilla, Granada y Málaga (Figura 1). Los muestreos del MSS se han llevado a cabo en canchales de tres sistemas montañosos calizos, pertenecientes a la Cordillera Penibética, y ubicadas en la provincia de Almería: Sierras de María y Gádor, y Granada: Sierra Nevada (Figura 1).

Método de captura

El material de las cuevas se ha recolectado tanto mediante trampas de caída cebadas con sobrasada distribuidas por las cavidades, como por captura directa con pincel (Figuras 2A-B). Las trampas consistieron en viales de 120 ml y 5,2 cm de diámetro enterrados a ras y llenos hasta la mitad con solución de turquin como atrayente y conservante (BELDA-GARCÍA et al., 2014). A partir del año 2012 se empleó como conservante una solución compuesta por 2/3 de propilenglicol y 1/3 de cerveza. El material se conservó en alcohol al 70%. Por lo general los muestreos fueron estacionales, salvo en las cavidades del Karst en Yeso de Sorbas que fueron mensuales.

Las trampas en el MSS consistieron en un cilindro de PVC de 11 cm de diámetro y un metro de longitud, con numerosas perforaciones de 8 mm de diámetro en el tramo inferior, que facilitan el acceso de la entomofauna presente a una profundidad comprendida entre -0,5

Figura 2. A-B, trampa instalada en cavidades y cueva en caliza; C, ejemplar de *Tychobythinus* sp.; D-E, trampa instalada en el MSS y canchal de la Umbría (Sierra María); F, ejemplar de *Amauronyx andujari*.

y -0,9 m. En el interior del tubo se colocó una trampa de caída que contiene 1,2-propanodiol como medio conservante y queso oloroso como cebo (BARRANCO et al., 2013; GILGADO et al., 2015; BAQUERO et al., 2017; entre otros) (Figura 2D).

Resultados

El total de los 291 ejemplares estudiados está recogido en la Tabla 1. En las cuevas andaluzas muestreadas se han capturado un total de 121 ejemplares pertenecientes a los géneros *Tychobythinus* Ganglbauer, 1896 con 77 ejemplares que constituyen 4 nuevas especies con un elevado grado de adaptación al medio hipogeo; y *Bryaxis* Kugelann, 1794 con 44 ejemplares asignados a 5 especies. En el MSS se capturaron un total de 170 ejemplares pertenecientes a 4 géneros y 6 especies: *Amauronyx andujari* Castro & Hernando, 2005, *Decatocerus alhambrae* Saulcy, 1870, *Geopselaphus affinis* Besuchet, 1961, *Geopselaphus alticola* Besuchet, 1961, *Geopselaphus simoni* (Reitter, 1882), y *Bryaxis* spp., 5 de ellas son citas nuevas para Almería y, además, una de ellas, constituye una nueva especie.

El género *Bryaxis* es el más representado, con 6 diferentes taxones entre los dos medios muestreados, una de cuyas especies ha aparecido en ambos hábitats y es la más abundante en el MSS almeriense. *Geopselaphus simoni* es la especie más conspicua pues ha aparecido en las tres localidades con canchales muestreados.

Especie	Ejem.	Hábitat		T.M.	Provincia
Tychobythinus sp. 1	74	Cueva	Karst de Yesos	Sorbas	Almería
Tychobythinus sp. 2	1	Cueva	Sierra de Gádor	Almócita	Almería
Tychobythinus sp. 3	1	Cueva	Sierra de Grazalema	Villaluenga del Rosario	Cádiz
Tychobythinus sp. 4	1	Cueva	Sierra Elvira	Atarfe	Granada
Bryaxis sp. 1	36	Cueva	Sierra de Gádor	Almócita, Berja, Enix, Serón	Almería
Bryaxis sp. 2	5	Cueva	Yegen	Alpujarra de la Sierra	Granada
Bryaxis sp. 3	1	Cueva	Sierra de Parapanda	Íllora	Granada
Bryaxis sp. 4	1	Cueva	Sierra de las Nieves	Tolox	Málaga
Bryaxis sp. 5	1	Cueva	Sierra Norte	Alanís	Sevilla
Amauronyx andujari	2	MSS	Sierra de María	María	Almería
Bryaxis sp. 1	100	MSS	Sierra de Gádor	Enix	Almería
Bryaxis sp. 6	1	MSS	Sierra de María	María	Almería
Decatocerus alhambrae	21	MSS	Sierra de Gádor Sierra de María	Gádor María	Almería
Geopselaphus affinis	7	MSS	Sierra de Gádor Sierra de María	Gádor María	Almería
Geopselaphus alticola	1	MSS	Sierra Nevada	Güéjar Sierra	Granada
Geopselaphus simoni	38	MSS	Sierra de Gádor Sierra de María Sierra Nevada	Enix María Güéjar Sierra	Almería Almería Granada

Tabla 1. Total de ejemplares recolectados.

Agradecimientos

Mostramos nuestro agradecimiento a todas las instituciones que han financiado diferentes proyectos para la recolección del material estudiado: el IEA de la Diputación de Almería, la Federación Andaluza de Espeleología, Ministerio de Educación y Ciencia y Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Junta de Andalucía. Así mismo, a los clubes que han colaborado o realizado parte de los muestreos: Espeleo Club Almería (ECA, Almería), Grupo Investigaciones Espeleológicas de Jerez (GIEX, Cádiz), Grupo de Exploraciones Subterráneas de la Sociedad Excursionista de Málaga (GES-SEM, Málaga), Grupo de Espeleólogos Granadinos (GEG, Granada) y Grupo Espeleológico Plutón (GEP, Sevilla). También al Profesor Dr. Alberto Tinaut por la cesión para su estudio de los ejemplares del MSS de Sierra Nevada.

Bibliografía

- ALONSO-ZARAZAGA, M.A., 2015. Subfamilia Pselaphinae. Latreille, 1802. En: Iberfauna. El Banco de Datos de la Fauna Ibérica. Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC).
- BAQUERO, E., E. LEDESMA, J.D. GILGADO, V.M. ORTUÑO & R. JOR-

DANA, 2017. Distinctive Collembola communities in the Mesovoid Shallow Substratum: First data for the Sierra de Guadarrama National Park (Central Spain) and a description of two new species of *Orchesella* (Entomobryidae). *PLoS ONE*, 12(12): e0189205. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189205.

- BARRANCO P., J.D. GILGADO & V.M. ORTUÑO, 2013. A new mute species of the genus *Nemobius* Serville (Orthoptera, Gryllidae, Nemobiinae) discovered in colluvial, stony debris in the Iberian Peninsula: A biological, phenological and biometric study. *Zootaxa*, 3691 (2): 201-431.
- BELDA-GARCÍA, I.M., P. BARRANCO & J. MAYORAL, 2014. *Protección de la fauna invertebrada cavernícola en Andalucía*. En: J.M. CALAFORRA & J.J. DURÁN (eds.): Iberoamérica Subterránea: 421-431. Egondi Artes Gráficas. Aracena.
- CULVER, D.C., L. DEHARVENG, A. BEDOS, J.J. LEWIS, M. MADDEN, J.R. REDDELL, B. SKET, P. TRONTELJ & D. WHITE, 2006. The mid-latitude biodiversity ridge in terrestrial cave fauna. *Ecography*, 29: 000-000. https://doi.org/10.1111/j.2005.0906-7590.04435.x.
- GILGADO, J.D. & V.M. ORTUÑO, 2015. Intra- and inter-population polymorphism in *Coletinia maggii* (Grassi, 1887) (Zygentoma: Nicoletiidae), an inhabitant of soil, mesovoid shallow substratum (MSS) and caves-A challenge for the strict classification of subterranean fauna? *Zootaxa*, 3920 (1): 085-100. https://doi.org/10.11646/zootaxa.3920.1.5.
- GILGADO, J.D., H. ENGHOFF, A. TINAUT & V.M. ORTUÑO, 2015. Hidden biodiversity in the Iberian mesovoid shallow substratum (MSS): new and poorly known species of the millipede genus *Archipolydesmus Attems*, 1898 (Diplopoda, Polydesmidae). *Zoologischer Anzeiger,* 258: 13-38. https://doi.org/10.1016/j.jcz.2015.06.001.
- HERNANDO, C. & T. PÉREZ, 2023. *Tychobythinus antojandro* sp. nov., a new troglobitic species of Pselaphinae (Coleoptera: Staphylinidae) from Andalusia, Spain. *Zootaxa*, 5258 (2): 239–244. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5258.2.6
- JEANNEL, R., 1950. *Coléopteres Psélaphides*. Faune de France nº 53. París. 422 pp., 169 lám.

- MAMMOLA S., P.M. GIACHINO, E. PIANO, A. JONES, M. BARBERIS, G. BADINO & M. ISAIA, 2016. Ecology and sampling techniques of an understudied subterranean habitat: the Milieu Souterrain Superficiel (MSS). *The Science of Nature*, 103: 88. https://doi.org/10.1007/s00114-016-1413-9.
- MOSELEY, M., 2010. Are all caves ecotones? *Cave and karst science*, 36 (2): 53-58.
- SALGADO, J.M., J. FRESNEDA, M. VILA-FARRÉ, P. RODRÍGUEZ, C.E. PRIETO, A. MARTÍNEZ-ORTÍ, A. MELIC; J.A. ZARAGOZA, P. BARRANCO, J.A. BARRIENTOS, F. MESQUITA-JOANES, S. IEPURE, F. PALERO, A.I. CAMACHO-PÉREZ, L. GARCÍA, D. JAUME, E. RECUERO, P. STOEV, E. BAQUERO, J.I. ARBEA, E. BERRUETE, R. JORDANA, R. MOLERO-BALTANÁS, M. GAJU, J.M. TIERNO DE FIGUEROA, M.J. LÓPEZ-RODRÍGUEZ, H. HOCH, A. TINAUT, T. PÉREZ, A. MIRALLES, A. SENDRA, 2022. *Listado de especies y subespecies cavernícolas (hipogeas) consideradas como troglobias y estigobias de la península ibérica e islas Baleares*. Monografías electrónicas Sociedad Entomológica Aragonesa, vol. 11 (Parte 2). Zaragoza.
- SENDRA, A., P. GARAY, V.M. ORTUÑO, J.D. GILGADO, S. TERUEL & A.S.P.S. REBOLEIRA, 2014. Hypogenic versus epigenic subterranean ecosystem: lessons from eastern Iberian Peninsula. *International Journal of Speleology*, 43: 253-264. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189205.
- TRAJANO, E. & M.R. CARVALHO, 2017. Towards a biologically meaningful classification of subterranean organisms: a critical analysis of the Schiner-Racovitza system from a historical perspective, difficulties of its application and implications for conservation. *Subterranean Biology*, 22: 1-26. https://doi.org/10.3897/subtbiol.22.9759.

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CAPACIDAD DE *Lagariella colominasi* (ZARIQUIEY, 1924) DE HACER FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Marín Hernández, E.M.[1], Pallarés Párraga, S.[1], Colado Manero, R.[1], Plaza Buendía, J.[1], Sánchez Fernández, D.[1]

1. Departamento de Ecología e Hidrología, Universidad de Murcia, 30100, Murcia, España. evamaria.marinh@um.es; susana.pallares@um.es; raquel.colado@um.es; jorge.plaza@um.es; davidsan@um.es

Los ambientes subterráneos presentan condiciones ambientales estables, por lo que se consideran auténticos laboratorios naturales. Los gestores del medio natural necesitan modelos y predicciones precisas sobre la respuesta de las especies frente a cambios ambientales. Este trabajo tiene como principal objetivo evaluar experimentalmente la capacidad de un coleóptero subterráneo, *Lagariella colominasi* (Zariquiey, 1924) de hacer frente al cambio climático, estudiando su supervivencia en diferentes tratamientos de temperatura (10, 20, 23 y 25 ºC) y de humedad (100% y 80%). Los resultados de tolerancia térmica muestran un valor de 21,17 ºC en el experimento con 100% de humedad, y de 14,99 ºC en el caso de 80% de humedad. Esto significa que, si se produce ese descenso de humedad del 20% dentro las cuevas, la tolerancia térmica de la especie se reduciría en más de seis grados, lo que puede tener importantes consecuencias para su supervivencia a medio plazo. Comparando estos valores con los estimados para las localidades habitadas por la especie en el futuro se observa que, en algunos escenarios, la temperatura del hábitat será mayor que el límite de tolerancia de la especie, por lo que su supervivencia estaría gravemente comprometida. En general, este estudio muestra que un enfoque experimental considerando distintas fuentes de variación para estimar la tolerancia térmica podría proporcionar predicciones más precisas sobre la capacidad de afrontar el cambio climático en especies subterráneas.

Palabras clave: cambio climático, humedad relativa, *Lagariella colominasi*, LT50, vulnerabilidad.

Introducción

Los ecosistemas subterráneos se diferencian del resto por sus condiciones exigentes, como son la plena oscuridad, una elevada humedad, la estabilidad de las condiciones climáticas y la escasez de recursos. Este hecho hace que sean lugares que albergan especies con características peculiares en cuanto a sus adaptaciones fisiológicas y morfológicas. De hecho, la ausencia de luz reduce la posibilidad de encontrar productores primarios, por lo que la materia orgánica procede de la infiltración de agua desde la superficie. Por ello, el ambiente hipogeo es un medio oligotrófico que provoca en los organismos una ralentización de su metabolismo. Como consecuencia, las especies que viven en él tienen una vida lenta, con una importante modificación de sus ciclos biológicos (como en el caso de las especies con estadíos larvarios, cuyo número de estadíos se ve reducido) y una disminución en sus tasas metabólicas y reproductivas. Además de ello, los habitantes de estos ambientes subterráneos presentan un alto grado de especialización, cuyas características frecuentemente son el apterismo (ausencia de alas) en insectos, la anoftalmia (reducción o ausencia de ojos), individuos despigmentados e incluso unos apéndices más alargados a medida que aumenta la especialización (JUAN et al., 2010). Aunque conocemos algunas de sus características, aún no tenemos suficientes evidencias para conocer la vulnerabilidad de estos ambientes para tomar decisiones firmes y eficientes sobre el efecto que puede tener en ellos el cambio climático. Estos grupos son estenotermos (sensibles a los cambios de temperatura), pero además sabemos que son estenohigrobios (es decir, sensibles a los descensos de humedad). Los efectos que se esperan y que se están observando son un aumento de la tempe-

ratura global, que provocaría un aumento de la temperatura de los ambientes subterráneos, y una reducción de la humedad causada por periodos de sequía muy prolongados. Debemos ser conscientes de que los avances reales en conservación y gestión de recursos requieren integración e interdisciplinariedad. Los datos sobre biología térmica tienen el potencial de contribuir en gran medida a nuestra comprensión de los efectos del cambio climático (BERNARDO & SPOTILA, 2006; HELMUTH, 2009), ya que el estrés inducido por el calentamiento es el efecto más próximo del calentamiento global, que precede a las respuestas conductuales o evolutivas (PÖRTNER & FARRELL, 2008). Además, si queremos conocer qué factores podrían afectar a estos límites térmicos no se puede obviar el efecto que podría tener, en los organismos de vida subterránea, una reducción en la humedad de las cavidades. Esto se debe a la baja resistencia a la desecación a causa de la alta permeabilidad de su cutícula. Debe considerarse la combinación de un aumento de temperatura y una disminución de humedad, de manera que se represente el escenario futuro más realista posible (MAMMOLA et al., 2019).

Objetivos

Este trabajo tiene como principal objetivo evaluar experimentalmente la capacidad de un coleóptero subterráneo, *Lagariella colominasi* (Zariquiey, 1924) de hacer frente al cambio climático, estudiando la supervivencia de los individuos cuando son expuestos a diferentes condiciones de temperatura y humedad.

Concretamente, los objetivos específicos son:

- Estimar el límite térmico superior de la especie *Lagariella colominasi*.
- Estimar el cambio en el límite térmico superior de esta especie asumiendo una reducción de la humedad relativa (HR).
- Analizar su vulnerabilidad al cambio climático, comparando las estimas del límite térmico obtenidas en los dos puntos anteriores con las predicciones de las condiciones ambientales que habrá en el futuro, bajo distintos escenarios de cambio climático, en las cavidades en las que habita.

Metodología

La especie de estudio es *L. colominasi* (Zariquiey, 1924), un coleóptero de la familia Leiodidae. Se trata de una especie subterránea obligada (troglobionte), que presenta troglomorfismos, es decir, adaptaciones a la vida en las cuevas o al medio subterráneo. Algunas de ellas son el apterismo, anoftalmia, un cuerpo y apéndices alargados, adaptación al frío e incluso ciclos de vida modificados (aparentemente con un solo estadío larvario) (SENDRA et al., 2023). Su distribución se limita la zona pirenaica, concretamente a seis cuevas cuyas temperaturas varían desde 11,79 ºC a 13,50 ºC. Todas ellas situadas en el entorno de Os de Balaguer, municipio perteneciente a la provincia de Lérida.

Muestreos

El muestreo y recolección de individuos se llevó a cabo en la Cova de Joan d'Os (long: 0,677716; lat: 41,923211). La cueva, localizada en Os de Balaguer, tiene una temperatura media anual de 11,79 ºC. La recogida de los individuos se realizó mediante aspiradores de boca y pinzas. Los individuos recolectados se introdujeron en un bote de plástico al que se le añadió musgo para mantener la humedad. Se colocó un termohigrómetro cerca de la zona de búsqueda, que registraba la temperatura y humedad de la cueva cada 2 minutos.

Experimentos de fisiología térmica

Al llegar al laboratorio, se realizó un recuento de individuos, que resultó en 82 ejemplares. A continuación, se colocaron en una bandeja de plástico con un suelo de yeso y se introdujeron en una cámara con una temperatura de 10 ºC y al 100% de humedad. Se mantuvieron en estas condiciones (similares a las de la cueva) durante 2 días, de manera que se aclimataran a las condiciones del laboratorio y se redujera el posible estrés producido en el desplazamiento. Pasado este tiempo se comenzó con el experimento, que consistió en la aplicación

de 4 tratamientos de temperatura. Uno de ellos se corresponde con el control (10 ºC), y los otros tres se colocaron a una mayor temperatura (20, 23 y 25 ºC), todos ellos en condiciones de saturación de humedad (100%). Estas temperaturas se seleccionaron teniendo en cuenta las condiciones de temperatura de la cueva, además de estudios previos realizados en especies de la misma familia (PALLARÉS et al., 2019; COLADO et al., 2022). Además, se estudió el efecto de una reducción de humedad realizando un duplicado de los tratamientos, pero colocándolos esta vez a una humedad del 80%. Los datos de temperatura y humedad fueron controlados mediante la colocación de un termohigrómetro (HOBO MX2301) en el interior de las bandejas. Durante una semana, se revisaban las bandejas realizando el mismo protocolo: se realizaba un recuento de los individuos (vivos y muertos), se apuntaban la fecha, hora y el nombre del observador. Cada día se tomaba un registro de las condiciones que marcaban tanto las cámaras como los termohigrómetros que se encontraban en su interior.

Obtención de los valores de tolerancia térmica

Los resultados obtenidos en los experimentos se organizaron en matrices de doble entrada sobre supervivencia del individuo en cada tratamiento durante los 7 días de duración del experimento. Se realizaron curvas de supervivencia de Kaplan-Meier para la especie, separadas en función de la humedad (100 y 80% HR). La tolerancia térmica de la especie se estimó mediante el cálculo de la LT50.

Estima de la vulnerabilidad de la especie frente al cambio climático

La capacidad de la especie para enfrentar el cambio climático se realizó mediante el cálculo de los Rangos Térmicos de Seguridad (RTS), comparando las de tolerancia térmica (LT50_100 y LT50_80) obtenidas en el punto anterior con las predicciones de las condiciones ambientales futuras que habrá en cada cavidad en las que habita y considerando distintos escenarios de cambio climático. Concretamente, se han seleccionado los datos a una resolución espacial de 30 segundos para los años 2021-2040 y 2081-2100 utilizando el modelo GCM (modelo de general de circulación) CMCC-ESM2. Para cada franja temporal se seleccionaron dos posibles escenarios de cambio climático. En concreto se ha utilizado la SSP245 (*Shared Socio-economic Pathway* 245) que representa unas condiciones medias en cuanto a emisiones y otros efectos derivados de actividades antrópicas, y SSP585, que predice un nivel de emisiones alto, simulando un escenario extremo derivado de modelos de cambio climático. De esta manera, obtenemos cuatro posibles escenarios de cambio: E1: 2021-2040_SSP245; E2: 2021-2040_SSP585, E3: 2081-2100_SSP245 y E4: 2081-2100_SSP585.

Resultados

Obtención de los valores de tolerancia térmica

Los resultados de tolerancia térmica indican que en el caso del experimento con humedad alta (100% HR), los valores de LT50_100 se corresponden con 21,17 ºC ±0,48, es decir este es el valor que indica una mortalidad del 50% de los individuos LT50 con 100% HR. Así los lugares que presentan temperaturas por encima de este valor, en principio no serían habitables para *L. colominasi*. Para el experimento

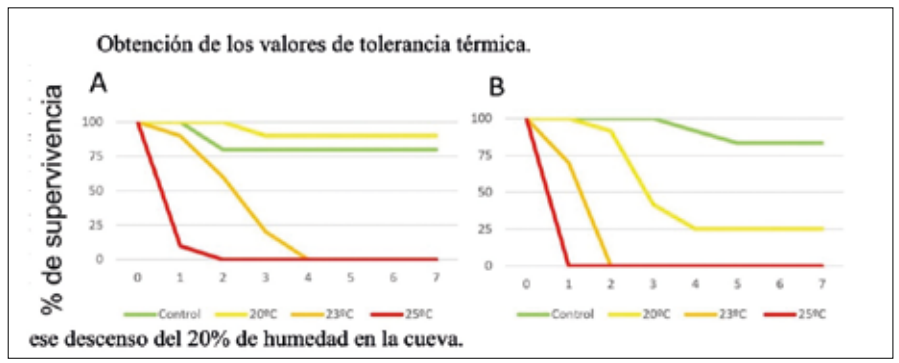


Figura 1. Curvas de supervivencia de Kaplan Meier para una humedad del 100% (A) y para una humedad del 80% (B). En el eje de abscisas se representa el tiempo transcurrido (en días), y en el eje de ordenadas el porcentaje de supervivencia.

de la humedad reducida, se obtuvo un valor de LT50_80 de 14,99 ºC ± 1.58, lo que significa que, si se produce un descenso de humedad del 20% en el futuro, la tolerancia térmica de la especie se reduciría en más de seis grados. En zonas con temperatura actual o futura por debajo de 14,99 ºC ±1,58 la especie puede sobrevivir, aunque se produjera ese descenso del 20% de humedad en la cueva.

Estima de la vulnerabilidad de la especie frente al cambio climático

El rango térmico de seguridad (RTS) para las condiciones de la cueva en la actualidad sitúa todas las cuevas en un rango entre 7,5 y 10 ºC. Sin embargo, RTS sufre una reducción notable en condiciones de humedad reducida, pasando a estar en cinco de las seis cuevas entre 5 y 7,5 ºC.

Los rangos térmicos de seguridad para los escenarios E1 y E2 no son alterados si solo tenemos en cuenta LT50_100. Sin embargo, para E3 se observa una importante reducción de RTS. En E4, el escenario con condiciones más extremas, RTS según LT50_100 es mínimo, siendo el mayor 2,37 ºC para la Cova Joan d'Os y el menor 0,97 ºC, para el Avenc de la Penya dels Dos Ulls, en la misma zona. Esto significa que la cavidad estaría a 0,97 ºC de ser un territorio no habitable para la especie. Al calcular RTS con LT50_80, se observa una fuerte disminución de los rangos habitables para *L. colominasi* en los escenarios E1 y E2 (RTS entre 2,5 y -2,5 ºC). De hecho, ya se observan cavidades que no serían

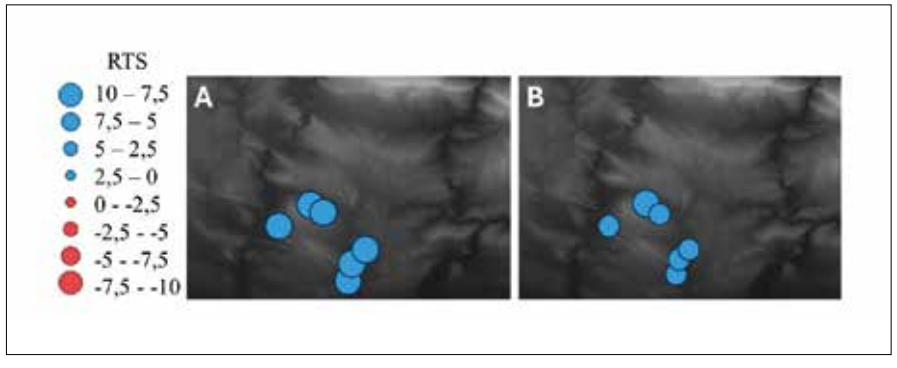


Figura 2. Rango térmico de seguridad (RTS) para cada cueva en las condiciones actuales de temperatura A) y de humedad reducida B).

habitables para la especie en ninguna circunstancia (cavidades 1 y 2). Este parámetro, según las condiciones E3 y E4, tendría valores negativos para todas las cuevas. Es decir, ninguna de ellas sería un territorio habitable para la especie en los escenarios de cambio climático E3 y E4.

Discusión

Los resultados de tolerancia térmica para *L. colominasi* coinciden con lo esperado, atendiendo a los valores obtenidos en algunos estudios previos. En ellos se ha demostrado que existe una relación entre la tolerancia térmica y el grado de especialización de las especies al medio subterráneo (RIZZO et al., 2015; PALLARÉS et al., 2019), de manera que la tolerancia térmica es más baja en aquellas especies que presentan un mayor grado de especialización. Por lo tanto, teniendo en cuenta las características biológicas y morfológicas de *L. colominasi*, el valor obtenido de 21,17 ºC quizás pudiera ser considerado incluso alto. *L. colominasi* presenta una morfología altamente adaptada al medio subterráneo profundo. Además, se debe tener en cuenta que la especie solo podría sobrevivir en zonas con temperatura actual o futura por debajo de 14,99 ºC considerando un descenso del 20% de humedad en la cueva. Así, atendiendo a los RTS obtenidos en este estudio, las predicciones son realmente preocupantes. A pesar de contar con un rango relativamente amplio en la actualidad, los resultados cambian drásticamente en los pronósticos para los próximos años. Cabe mencionar que en este estudio se ha considerado la temperatura de las cuevas, y que en la red de fisuras y grietas más profundas las condiciones podrían ser más estables que en las cuevas más cercanas a la superficie. Un foco de incertidumbre puede ser el efecto sobre la tolerancia térmica que tiene la alimentación antes y durante el desarrollo del experimento, ya que no se conoce si hay otra fuente de alimento que optimice aún más la supervivencia de *L. colominasi*. De hecho, la alimentación de la especie en su hábitat natural no está del todo descrita. Por otro lado, el momento en el que se realiza el experimento, la distribución del sexo de los individuos o el gra-

do de madurez de los mismos en los diferentes tratamientos podrían ser también fuentes de variación, que no se han controlado. Además, alargar los experimentos en el tiempo podría ofrecer información más exacta sobre la tolerancia térmica de la especie. Incluso sería interesante realizar estudios de tolerancia térmica y reducción de humedad no sólo en el individuo adulto, sino también a nivel de los diferentes estadíos larvarios. Aún no hay estudios sobre los límites térmicos de las larvas, por lo que se desconoce si requieren unas condiciones similares al adulto para desarrollarse o si son aún más exigentes. Si esto fuera así, los rangos térmicos de seguridad de la especie podrían disminuir aún más. Siguiendo con esta línea, también se desconoce si estas condiciones tienen algún efecto en las tasas de reproducción de las especies subterráneas. Además, estudios más completos sobre los mecanismos fisiológicos en respuesta a las diferentes condiciones, podrían arrojar información sobre qué temperaturas podrían causar estrés en estos individuos y qué nivel de estrés soportarían sin alcanzar la muerte. Estudiar otros factores como un posible descenso de la cantidad de oxígeno en la cueva y el efecto sobre la tolerancia térmica podría ser otra línea a la que dedicar futuros esfuerzos durante los próximos años.

Bibliografía

- BERNARDO, J. & J.R. SPOTILA, 2006. Physiological constraints on organismal response to global warming: Mechanistic insights from clinally varying populations and implications for assessing endangerment. *Biology Letters*, 2(1): 135-139.
- COLADO, R., S. PALLARÉS, J. FRESNEDA, S. MAMMOLA, V. RIZZO & D. SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, 2022. Climatic stability, not average habitat temperature, determines thermal tolerance of subterranean beetles. *Ecology*, 103(4): e3629.
- HELMUTH, B., 2009. From cells to coastlines: How can we use physiology to forecast the impacts of climate change? *Journal of Experimental Biology,* 212(5): 753-76.
- JUAN, C., M.T. GUZIK, D. JAUME & S.J. COOPER, 2010. Evolution in caves: Darwin's 'wrecks of ancient life' in the molecular era. *Molecular Ecology*, 19(18): 3865-3880. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04759.x.
- JUBERTHIE, C., B. DELAY & M. BOUILLON, 1981. Sur l'existence du milieu souterrain superficiel en zone calcaire. En: Les entrées d'énergie dans le karst et communications libres. *Mémoires de Biospéologie,* 8, 77-93.
- MAMMOLA, S., E. PIANO, P. CARDOSO, P. VERNON, DOMÍNGUEZ-D. VILLAR, D.C. CULVER, T. PIPAN & M. ISAIA, 2019. Climate change going deep: The effects of global climatic alterations on cave ecosystems. The Anthropocene Review, 6(1-2): 98-116. https://doi.org/10.1177/2053019619851594.
- PALLARÉS, S., R. COLADO, T. PÉREZ-FERNÁNDEZ, T. WESENER, I. RIBERA & D. SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, 2019. Heat tolerance and acclimation capacity in subterranean arthropods living under common and stable thermal conditions. *Ecology and Evolution*, 9(24): 13731-13739.
- PÖRTNER, H. O. & A.P. FARRELL, 2008. Ecology, physiology and climate change. *Science*, 322(5902): 690-692.
- RIZZO, V., D. SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, J. FRESNEDA, A. CIESLAK & I. RIBERA, 2015. Lack of evolutionary adjustment to ambient temperature in highly specialized cave beetles. BMC *Evolutionary Biology,* 15(1): 10. https://doi.org/10.1186/s12862-015-0288-2.
- SENDRA, A., 2023. *Habitantes de la oscuridad: Fauna Íbero-balear de las cuevas*. Sociedad Entomológica Aragonesa. 752 pp.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

BIODIVERSIDAD FICOLÓGICA DE LA CUEVA DE NERJA BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE CULTIVO

Martín Girela, I.[1], Del Rosal Padial, Y.[2], Sánchez Castillo, P.[1]

1.Universidad de Granada, Departamento de Botánica, Laboratorio de Ficología, Campus Universitario de Cartuja, 18071, Granada. mmgirela@ugr.es; psanchez@ugr.es
2.Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja, Instituto de Investigación, Ctra. de Maro s/n, 29787, Nerja, Málaga. yolanda@cuevadenerja.es

El "mal verde" es responsable de procesos de biodeterioro que afectan al patrimonio natural y cultural de la Cueva de Nerja, pero también es un tesoro botánico que integra especies únicas y de gran interés, muchas de ellas aun no descritas por la ciencia. Por ello, estos biofilms fotosintéticos merecen ser estudiados en profundidad, no solo en base a la conservación de la cueva, sino también por su rareza y singularidad. Entre las especies ficológicas que colonizan la cavidad nerjeña, la Rodophyta *Cyanidium* sp. Schwabe 1936, próxima a la actual denominación de *Cavernulicola chilensis* (Schwabe) et al., 2023 o las cianobacterias *Chroococcidiopsis* sp. Geitler, L. (1925) y *Chalicogloea cavernicola* M. Roldán, M. Hernández-Mariné & Komárek, 2012 merecen un estudio más profundo. En este trabajo se analiza la evolución de diferentes cultivos procedentes de una muestra dominada por los géneros *Chroococcidiopsis* sp. y *Gloeothece* sp. que, tras un año, presentan a la especie *Chalicogloea cavernícola* con características fenotípicas compatibles con los géneros *Gloethece* y *Cyanosarcina* pero que, según estudios recientes, podría ser considerada un nuevo género dentro del orden Chroococales.

Palabras clave: biofilm, cultivo, espeleotemas, taxonomía.

Introducción

La biodiversidad cavernícola de la Cueva de Nerja (Málaga, España) se hace patente desde su descubrimiento en el año 1959. Con el fin de abrir este mágico espacio para que el público pudiera admirar su gran belleza, se procedió a iluminar la cueva de manera artificial, hecho que favoreció su colonización por microorganismos fotosintéticos como microalgas y cianobacterias. Estos nuevos habitantes crecieron en forma de tapices o biofilms, coloreando de verde, azul, pardo o dorado, diferentes superficies iluminadas, como espeleotemas, paredes o sedimento, denominándose de forma general como "mal verde" por afectar a la conservación de este monumento cultural y natural. No obstante, desde un punto de vista biológico, la Cueva de Nerja forma un universo único plagado de especies muy bien adaptadas al ambiente cavernícola, en el que habitan especies fotosintéticas extraordinarias, por su singularidad y por ser capaces de sobrevivir en condiciones ambientales extremas.

NIETO et al., (1991) y RUIZ et al., (1991) dan comienzo a la investigación sobre la biodiversidad vegetal y los biofilms fotosintéticos, que será continuada por las investigaciones de DEL ROSAL PADIAL (2016), entre otros, cuyos resultados aportan un conocimiento profundo de la biología de los biofilms fotosintéticos en la Cueva de Nerja. Estos trabajos desarrollan un catálogo pormenorizado de microalgas y cianobacterias que ha sentado las bases del conocimiento de estos microorganismos tan especiales.

La cavidad cuenta con especies pertenecientes a los Phyla Cyanobacteria (algas verdeazuladas), Rhodophyta (algas rojas), Chlorophyta (algas verdes) y Phyllum Ochrophyta (diatomeas). Las cianobacterias son las que aportan mayor biodiversidad con especies de los géneros: *Chroococcidiopsis, Aphanothece, Gloeothece, Gloeocapsa,*

Chalicogloea, Leptolyngbya, Pseudophormidium y *Nostoc*. El Phyllum Rhodophyta está representado por el género *Cyanidium* sp., mientras que el Phyllum Chlorophyta aporta los géneros *Choricystis, Jenufa, Desmococcus y Stichococcus* y, por último, entre las diatomeas se ha observado el género *Humidophila*. Algunas especies probablemente correspondan a nuevas especies para la ciencia, y merecen un estudio más profundo como la Chlorophyta *Jenufa* sp. (sp holotipo *J. perforata* Nemcová, M. Eliás, Skaloud & Neustupa 2011), la Rodophyta *Cyanidium chilense* Schwabe 1936, (este nombre se considera actualmente como sinónimo de *Cavernulicola chilensis* (Schwabe) H. S. Yoon, S. I. Park, D. E. Bustamante, M. S. Calderon & A. Mansilla, 2023), y las Cyanobacterias *Chroococcidiopsis* sp. Geitler, L. (1925) y *Chalicogloea* cf. *cavernícola* M. Roldán, M. Hernández-Mariné & J. Komárek, 2012.

Con el objetivo de comprender la persistencia y el rango de variabilidad de dichas especies, hemos realizado varias experiencias usando diferentes medios de cultivo para determinar el más apropiado para cada especie, así como su influencia sobre posibles modificaciones morfológicas.

Material y métodos

Las células proceden de raspados de espeleotemas de la Cueva de Nerja realizados el 18/01/22, donde las especies observadas inicialmente fueron asignadas a los géneros *Chroococcidiopsis* sp. y *Gloeothece* sp. Los diferentes crecimientos celulares han sido evaluados en 5 condiciones de cultivo. Para ello se emplearon placas Petri con agar al 1,5%, y añadiendo o no medio nutritivo. Los medios con nutrientes fueron elaborados con agar, agua de goteo de la cueva y diferentes concentraciones (100, 72,2 y 50%) de medio de cultivo BG-11 (BOLD, 1949). Los dos medios sin nutrientes se realizaron, uno con agar y agua de la cueva y otro con agar y agua destilada.

La experiencia se inicia el 07/10/22, partiendo del mismo inóculo (cultivo previo en placa Petri del 18/01/22) y sembrando las nuevas placas Petri con las 5 condiciones descritas anteriormente. Los cultivos se realizaron en el Departamento de Botánica de la Universidad de Granada, en cámara de cultivo con fotoperiodo 12-12, temperatura 16 C° y condiciones generales de iluminación de 40 µmol $m^{-2}s^{-1}$, con las placas ubicadas en la zona de la cámara con mayor atenuación de la luz, muy superior a la iluminación que reciben los biofilms en la cueva, en torno a 2-10 µmol $m^{-2}s^{-1}$.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

Resultados y discusión

Tras un año de cultivo, las placas Petri son comparadas para estudiar la evolución de las especies crecidas en los diferentes medios nu-

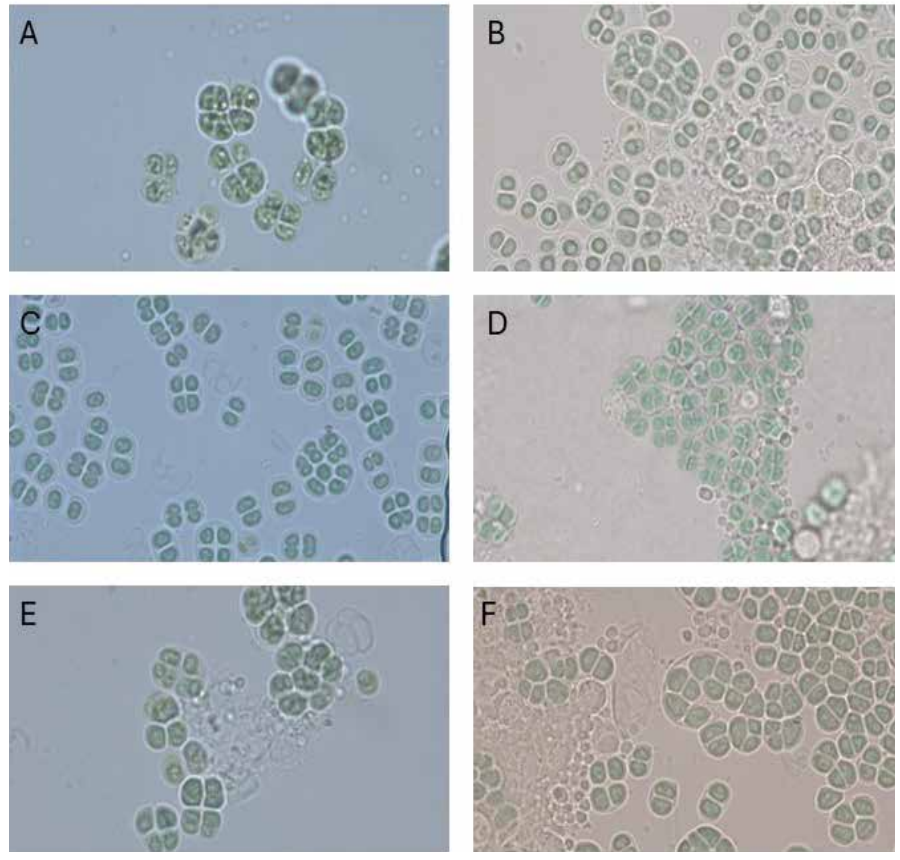


Figura 1. Células cultivadas en medios con nutrientes. Medio BG-11 (100%): A (07/10/23) y B (17/10/23). Medio BG-11 (72,2%): C (24/06/22) y D (24/05/23). Medio BG-11 (50%): E (07/10/22) y F (17/10/23).

tritivos. Imágenes de las especies crecidas con adicción de nutrientes se recogen en la figura 1 y las desarrolladas en medio sin nutrientes se incluyen en la figura 2.

La figura 1 muestra cultivos realizados con medio BG-11. (A): BG-11 (100%), en las placas observadas el 07/10/22 aparecen pequeñas colonias de cuatro células esféricas con vaina bien definida, junto a grandes colonias con vaina muy adherida a las células, disposición tridimensional y de contenido celular granuloso. (B): el mismo cultivo observado el 17/10/23 presenta paquetes de células bien definidos con zona central hialina, sin inclusiones. La mayoría de las células con tendencia a disponerse en un solo plano, como consecuencia de la ruptura o colapso de los grandes paquetes celulares o tendencia a disgregarse en colonias bicelulares. En ambos casos la especie observada se asimila a un morfotipo de *Chroococcidiopsis* sp. (C): BG-11 (72,2%), las placas observadas el 24/06/22 muestran células con vainas bien diferenciadas y claramente separadas. Colonias con tendencia a disgregarse o degenerar hasta una sola célula. (D): el mismo cultivo observado el 24/05/23 contiene células bien delimitadas y se observan posibles baeocitos. En ambos casos la especie observada pensamos que se corresponde con un morfotipo de *Chroococcidiopsis* sp. (E): BG-11 (50%), los cultivos observados el 07/10/22 cuentan con gran abundancia de colonias grandes que colapsan con facilidad. Células de contenido granuloso, no tan tridimensionales como en el caso de las crecidas con BG-11 (100%). También aparecen pequeñas colonias más densas, similares a las de la imagen (A), pero con menor número de células. (F): el mismo cultivo observado el 17/10/23 está dominado por colonias pequeñas con tendencia a la disgregación. Aparecen células senescentes o degeneradas que podrían incluso ser baeocitos. En ambos casos la especie observada corresponde, a grandes rasgos, con *Chroococcidiopsis* sp., sin embargo, con una considerable diferencia respecto a la ordenación de células y colonias observadas en las poblaciones naturales de la cueva.

Tras las numerosas observaciones realizadas en los cultivos con medios enriquecidos, la especie que ha predominado ha sido *Chroococcidiopsis* sp. En cambio, en los medios sin nutrientes, elaborados

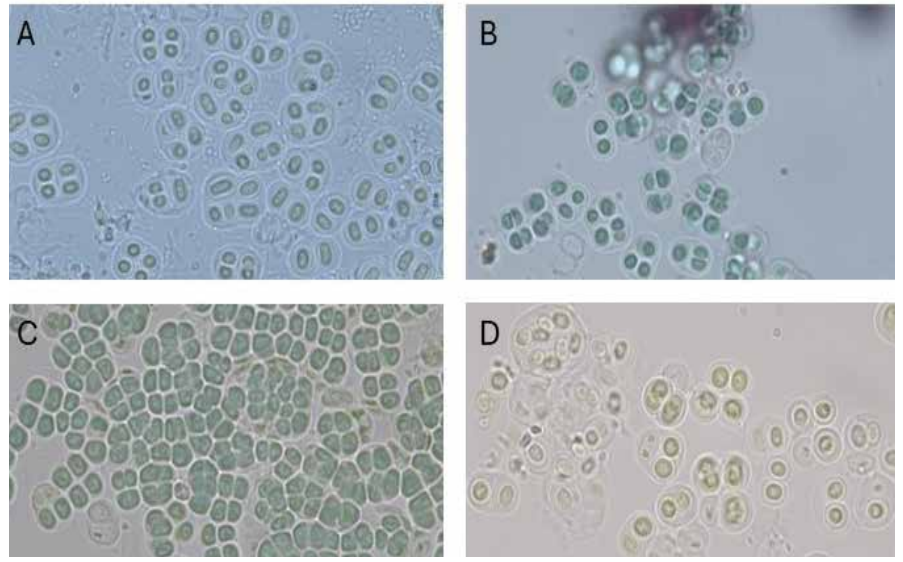


Figura 2. (A y B) Células cultivadas en agar y agua de la cueva (observadas el 07/10/22 y el 16/01/24, respectivamente), y (C y D) células cultivadas en agar y agua destilada (observadas el 07/10/22 y el 17/10/23, respectivamente).

con agua de la cueva y destilada, *Chroococcidiopsis* sp. ha dado paso a otras especies de naturaleza cocal como *Cyanidium* sp. y *Jenufa* sp. que, con el tiempo, han sido sustituidas por una cianobacteria muy poco abundante en el medio natural y que ha dado lugar a importantes poblaciones "in vitro", cuyas características se muestran en la figura 2.

La figura 2 muestra los cultivos realizados sin nutrientes y ponen de manifiesto el predominio de células desde esféricas hasta elípticas, ampliamente dispuestas en colonias más o menos laxas en los cultivos con agua de la cueva (A, B) mientras que cultivos con agua destilada, observados el 07/10/22 (C), presentan colonias más densas, sin diferenciación neta de las vainas que, un año más tarde (D), se observan como células de pequeño tamaño, con pigmentación mucho más atenuada, formando parte de colonias tanto múltiples como más pequeñas de 2-3, donde tanto su decoloración como la fácil disgregación pueden indicar el inicio del deterioro de la población.

Las imágenes A y D presentan algunas células solitarias y grupos de 2, 3 y 4 células que, a su vez, se reúnen formando agregados en roseta. Poseen una membrana gelatinosa, incolora que envuelve a cada célula y a cada conjunto de células (2, 3 y 4 individuos), pero no así a las rosetas, aunque este exopolisacárido ha de intervenir en la agregación de los grupos celulares. Las células vegetativas son básicamente esféricas o elipsoidales, a veces poligonales. La división celular parece ser binaria, no se han observado baeocitos. El color de las colonias es verde azulado más o menos intenso, con una zona menos pigmentada en la zona central de cada célula. El tamaño de las células sin vaina es de ~2,5 µ para las esféricas y de 2.5-3 x 4.5-5 µ para las elipsoidales; las vainas individuales, de grosor variable, oscilan entre 1-2 µ. Este morfotipo presenta cierta similitud con diferentes rangos de las especies *Chroococcidiopsis, Gloeothece* y *Chalicogloea* estudiadas previamente por DEL ROSAL PADIAL (2016), así como con ciertas características de *Cyanosarcina*. En esta investigación previa se indica la presencia de una morfoespecie identificada como *Chalicogloea cavernicola* de la Cueva de Nerja, que coincide con *C. cavernicola* en base a criterios de hábitat y similitud de características morfológicas, aunque sin evidencia molecular. La especie tipo fue aislada creciendo sobre espeleotemas y paredes de calcita en una cueva turística en Collbató (Barcelona, España) (ROLDÁN et al., 2013). Los pigmentos identificados fueron ficoeritrina, ficocianina, aloficocianina y clorofila a. Los análisis filogenéticos utilizando la secuencia del gen 16S rRNA mostraron un 95% de similitud con la cepa *Chroococcus* sp. JJCM (n.º de acceso de GenBank AM710384). Los rasgos fenotípicos diacríticos no se correspondieron con ninguna especie descrita actualmente, y los rasgos genéticos respaldaron que la cepa se clasifique como el primer miembro de un género independiente en el orden Chroococcales y la familia Chroococcaceae. Este podría ser también el caso de *C. cavernicola* morfotipo Cueva de Nerja, una cianobacteria unicelular con células casi esféricas y vainas de contorno fino que se dividen irregularmente formando pequeños paquetes inmersos en una capa mucilaginosa difluente.

Por otro lado, ROLDÁN et al., (2013) menciona que este morfotipo tiene muchas similitudes con el género *Cyanosarcina,* en concreto la *C. parthenonensis* Anagnostidis 1991, de ambientes aerofíticos y desarrollada sobre substratos calcáreos, aunque intuyen que esta especie puede pertenecer al género *Chalicogloea* en lugar de *Cyanosarcina*. Esta teoría puede verse reforzada por Komárek & Anagnostidis 1999 que indican tamaños mucho mayores (2.5-4.5 µ) para *C. parthenonensis*. Finalmente, comparte también otras similitudes con *Cyanosarcina huebeliorum* Komárek & Anagnostidis 1995, y *C. thermalis* (Hindák) Kovácik 1988. Estas evidencias, junto con la información obtenida de los cultivos, justifican un estudio más profundo que permita la correcta identificación taxonómica de la especie que habita en la Cueva de Nerja.

Bibliografía

- BOLD, H.C., 1949. The Morphology of Chlamydomonas chlamydogama, Sp. Nov. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 76(2), 101-108.
- DEL ROSAL PADIAL, Y., 2016. Análisis, impacto y evolución de los biofilms fotosintéticos en espeleotemas. El caso de la Cueva de Nerja. Tesis doctoral. Universidad de Málaga. http://hdl.handle.net/10630/14129.
- NIETO, J.M., M.M. TRIGO, E. SALVO, P. SÁNCHEZ & B. CABEZUDO, 1991. Consideraciones botánicas sobre la Cueva de Nerja. *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 2: 23-41. Patronato de la Cueva de Nerja.
- ROLDÁN, M., M. RAMÍREZ, J. DEL CAMPO, M. HERNÁNDEZ-MARINÉ & J. KOMÁREK, 2013. Chalicogloea cavernicola gen. nov., sp. nov. (Chroococcales, Cyanobacteria), from low-light aerophytic environments: combined molecular, phenotypic and ecological criteria. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63(Pt_6). https://doi.org/10.1099/ijs.0.045468-0.
- RUIZ, J., F. MARÍN-GIRÓN, F. OJEDA, F. MARIN-OLALLA, J. BERROS & E. MARÍN-OLALLA, 1991. Estudio Macroscópico “in situ” y microscópico-ecológico de pequeñas zonas de flora verde (algas verdes y verdeazuladas) del interior de la Cueva de Nerja. *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 2: 113-125. Patronato de la Cueva de Nerja.

APUNTES SOBRE LA DIVULGACIÓN DE LA BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA EN MALLORCA (ISLAS BALEARES), CUNA DE LA BIOESPELEOLOGÍA

Garcia, Ll. [1,2]

1.Societat d'Amics del Museu Balear de Ciències Naturals i del Jardí Botànic de Sóller, Carretera Palma Port de Sóller, km. 30. Sóller, 07100, Mallorca, Illes Balears. llucgarciaisopoda@gmail.com
2.Fundació MUCBO, Carretera Palma Port de Sóller, km. 30, 07100, Sóller, Mallorca, Illes Balears.

Se aportan algunos datos y se comentan varios aspectos relacionados con la divulgación de la biología subterránea en Mallorca (Islas Baleares, España). El hecho de que en esta isla se realizaran, a principios del siglo XX, algunos de los primeros descubrimientos bioespeleológicos del mundo, que fueron claves para el posterior desarrollo de la bioespeleología como disciplina científica, parece haber tenido muy poca influencia en el conocimiento generalizado de la sociedad local sobre la vida en el medio subterráneo. Se comenta también brevemente el papel que han jugado en los últimos años las instituciones naturalistas de Balears en la difusión entre el gran público de la biología subterránea insular y se ha constatado que algunos de los últimos descubrimientos faunísticos han tenido notable seguimiento mediático. Por otra parte, se proporcionan ejemplos concretos de la tarea divulgativa y educativa realizada en esta materia por el Museu Balear de Ciències Naturals de Sóller.

Palabras clave: bioespeleología, cuevas, divulgación científica, educación, fauna subterránea, turismo.

Fotografía: Toni Pérez Fernández

Introducción

Las cavidades subterráneas de Mallorca se encuentran entre las más conocidas. Las famosas cuevas del Drac, els Hams, Artà, Campanet y Gènova, entre otras, se han explotado como recurso turístico durante más de un siglo y han recibido millones de visitantes, especialmente turistas (GINÉS, 1995; GINÉS & GARCIA, 1995). A esta fama se ha añadido, durante el siglo XXI, el descubrimiento y exploración de grandes cavidades costeras inundadas que han revelado una insospechada riqueza de estructuras relacionadas con los procesos de karstificación y también han atraído numerosos visitantes más especializados (GRACIA, 2015). Sin embargo, a pesar de que los descubrimientos zoológicos que Émile G. Racovitza realizó a principios del siglo XX en las cavidades mallorquinas, y que en buena medida supusieron el inicio de la biología subterránea como disciplina científica independiente (GINÉS & GINÉS, 2018), el conocimiento de la riqueza biológica de estas cavidades no siempre ha llegado al gran público de forma generalizada a través de un proceso divulgativo.

Los primeros descubrimientos

Los primeros hallazgos zoológicos en las cavidades subterráneas de Mallorca, a principios del siglo XX, no parece que tuvieran ninguna trascendencia fuera de los círculos científicos. No hemos podido localizar ninguna reseña en la prensa local de la importante reunión de la Sociedad Zoológica de Francia que tuvo lugar en el Instituto Balear de Palma en abril de 1905, presidida por Odón de Buen y en la que participaron destacados miembros del momento, entre ellos É.G. Racovitza (SOCIÉTÉ ZOOLOGIQUE DE FRANCE, 1905; RACOVITZA, 1905). La figura de Racovitza y sus descubrimientos pioneros en Mallorca, realizados en 1904 y 1905

(en parte durante los días previos a esta reunión) solamente llegaron a alcanzar cierto grado de conocimiento entre la sociedad local muchos años después. Fue en la segunda mitad del siglo XX cuando, por iniciativa de la fundación Constantin Dragan, creada en 1967 y con una de sus sedes en Palma (VICENS, 2008), se dio relevancia pública a la figura de Racovitza y a la trascendencia de sus descubrimientos en las Coves del Drac en el posterior desarrollo de la biología subterránea.

El crustáceo isópodo *Typhlocirolana moraguesi* y la efigie de su descubridor se hicieron notorias en la capital balear con la inauguración de un monumento situado en el paseo marítimo de Palma (Figura 1). También en el centro oceanográfico de Balears (Instituto Español de Oceanografía -IEO), se colocó una lápida conmemorativa con la efigie de Racovitza y una réplica de un ejemplar de *T. moraguesi* (Figura 3).

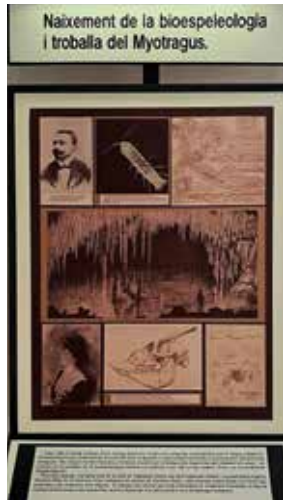


Figura 1 (izquierda). Monumento situado en Palma, dedicado a É.G. Racovitza y a *Typhlocirolana moraguesi*. Figura 2 (centro). Panel del Museu Balear de Ciències Naturals explicando la exploración de 1904 y otros aspectos históricos relacionados con las cuevas. Figura 3 (derecha). Monumento situado en Palma, dedicado a É. G. Racovitza y a sus descubrimientos zoológicos en Mallorca.

Las cuevas turísticas

Las cuevas turísticas de Mallorca se encuentran entre las más famosas y, en las Coves del Drac se realizaron algunos de los primeros descubrimientos bioespeleológicos del mundo, aunque antes de esto ya eran muy conocidas debido a la trascendencia que tuvo su descubrimiento por parte de Édouard Martel en el siglo XIX (GINÉS, 1995). El número de visitas a las cuevas turísticas es muy elevado, dada la importancia que tiene en la isla la industria turística. En el conjunto de Balears, se estima que el número de visitantes de estas cavidades superaba ya hace años los 1,5 millones (GINÉS & GINÉS, 2011). En Mallorca, solamente la cavidad denominada Coves del Drac, situada en Manacor, recibía a finales del siglo XX más de 800.000 visitantes al año (GINÉS, 1995).

Sin embargo, la información que reciben los visitantes sobre la fauna de estas cavidades es, salvo excepciones, prácticamente nula o extremadamente superficial (GINÉS, 1995; GINÉS & GINÉS, 2011). En la información publicitaria actual de las denominadas Coves del Drac, Coves dels Hams, Coves d'Artà y Coves de Gènova, no hay información divulgativa sobre la fauna que albergan, aunque sí que se destacan algunos aspectos geomorfológicos.

Caso aparte es el de la cavidad conocida como Coves de Campanet, que desde hace años ofrecía a sus visitantes un folleto con información científica sobre la cavidad, incluida su fauna (GINÉS & GINÉS, 2011). Más tarde, esta misma cueva promovió estudios científicos en su interior, especialmente bioespeleológicos, lo que se tradujo en el descubrimiento y descripción de varias especies troglobias terrestres (VADELL, 2015). Actualmente, en su página web, existe un apartado dedicado a la fauna con buenas fotografías de los principales invertebrados recolectados, realizadas por Mateo Vadell.

Las instituciones

En los últimos años, las instituciones científicas han hecho un considerable esfuerzo para extender hacia el gran público los nuevos hallazgos a través de los medios de comunicación y redes sociales, proporcionando a los periodistas información detallada e imágenes que simplifican su labor de transmisión. La Societat d'Història Natural

de Balears (SHNB), la Federació Balear d'Espeleologia, el Museu Balear de Ciències Naturals (MBCN-MUCBO) y la Societat Espeleològica Balear (SEB), han realizado una gran labor en este sentido, con publicaciones, charlas, conferencias, visitas, exposiciones y actividades de educación ambiental, cumpliendo así con su papel de servir de nexo de unión entre los científicos y el conjunto de la sociedad. Las instituciones académicas o de investigación científica, como la Universitat de les Illes Balears y su Centre Balear de Biodiversitat, y el Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (UIB-CSIC) disponen de departamentos de comunicación que se encargan de redactar notas informativas sobre los hallazgos científicos.

Un evento de divulgación bioespeleológica importante, en cuya organización colaboraron el Museu Balear de Ciències Naturals (MBCN), la Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst (SEDECK) y la Universitat de les Illes Balears (UIB), fue la celebración, en 2004, de una serie de actos conmemorativos del descubrimiento de *Typhlocirolana moraguesi* en las Coves del Drac (SENDRA et al., 2023). El evento reunió en la isla a un buen número de bioespeleólogos y tuvo un seguimiento mediático importante. Durante el mismo año y en el marco de la misma conmemoración, la biología subterránea fue también noticia en Mallorca gracias a la reedición comentada y traducida de una de las obras claves de Racovitza, a cargo del Dr. Xavier Bellés i Ros (BELLÉS, 2005). Las comunicaciones presentadas en el simposio del centenario del descubrimiento, fueron publicadas en una edición especial de la revista de espeleología Endins, llegando a un público amplio (SENDRA et al., 2023).

La divulgación de la biología subterránea en el Museu Balear de Ciències Naturals

Una aportación muy importante a la divulgación del patrimonio biológico subterráneo mallorquín ha sido, sin duda, la realizada por entidades naturalistas isleñas a través de actividades de educación ambiental. Destaca en este sentido el papel desarrollado por el Museu Balear de Ciències Naturals. Esta institución fue creada entre los años 80 y 90 del pasado siglo por una asociación de naturalistas del mismo nombre (GARCIA, 2012). Uno de los primeros directores del museo fue el Dr. Àngel Ginés Gracia (1950-2024), reconocido especialista en carst. Desde que se puso al frente del museo en 1992, puso un gran empeño en dar a conocer al gran público, y muy especialmente a los escolares, el papel crucial que jugaron las cuevas mallorquinas en el desarrollo de la bioespeleología. La primera exposición permanente ya incluía un panel expositivo sobre los hallazgos de É.G. Racovitza en las Coves del Drac (GINÉS, 1992) y esta vinculación, con explicaciones sobre el significado de la bioespeleología y aspectos sobre la biodiversidad subterránea, eran destacados durante las visitas guiadas y en las visitas escolares, suponiendo para muchos visitantes un primer contacto con el tema (Figura 2). También se instaló en el Jardín Botánico una lápida conmemorativa de la primera exploración biológica de las Coves del Drac y de su principal resultado. La lápida fue cedida por el Centre Oceanogràfic de Balears (IEO). Contiene una efigie de Racovitza y un relieve de *Typhlocirolana moraguesi* (Figura 3).

En la década de los años 2000 el museo organizó varios cursos teóricos de iniciación a la bioespeleología, dirigidos a docentes, estudiantes de biología y personal de cuevas turísticas, impartidos por especialistas en biología y ecología subterráneas. En estos seminarios se proporcionaba a los asistentes una visión general del medio subterráneo en Balears, la diversidad de los ecosistemas subterráneos, su ecología y su fauna troglobia y estigobia. En el mismo año se organizaron varias visitas guiadas a las cuevas de Campanet y Estudiants (conocida como Cova dels Estudiants, cavidad situada en Sóller y que estaba adaptada ya que fue visitable a principios del siglo XX), con la observación de fauna *in situ* como uno de los objetivos.

En 2008 se inauguró la exposición permanente de biodiversidad que incluyó una réplica de un ejemplar de *Typhlocirolana moraguesi* de un metro de longitud. El ejemplar se exhibía en una habitación oscura en la que se mostraban, iluminadas, fotografías de fauna troglobia y estigobia. También se editó, en colaboración con el Govern Balear, un gran póster sobre la vida en las cuevas, cartel que se repartía gratuitamente entre los centros escolares que visitaban el museo y que llegó a miles de personas (Figura 4).

Figura 4. Cartel didáctico sobre la fauna troglobia y estigobia de Balears.

Actualmente el museo trabaja en un proyecto de renovación museográfica que contempla abrir, en el año 2025, una sala dedicada a la geología y a la geomorfología de la isla, con especial atención al carst. El proyecto incluye un apartado dedicado a la divulgación de la biología subterránea de las Balears, sus aspectos históricos y un gran diorama representando una cavidad con modelos 3D de cavernícolas endémicos y muestras con especímenes reales en su interior.

Prensa y redes sociales

El interés de la prensa regional y local de Mallorca por los descubrimientos científicos realizados en la isla ha ido en aumento en los últimos años. Los descubrimientos en cuevas y simas, tanto los biológicos como de cualquier otro tipo, han tenido un notable seguimiento

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

y han llegado de esta manera al gran público. Actualmente algunos de estos medios disponen de redactores más o menos especializados en ciencia, mientras que otros se apoyan solamente en las notas de prensa facilitadas por las entidades involucradas. En lo que se refiere a la biología subterránea, descubrimientos recientes como el de gusanos poliquetos con afinidades abisales hallados en cuevas anquihalinas (CAPA et al., 2022) han tenido un notable impacto, contribuyendo a que la sociedad balear valore cada vez más la importancia ambiental del medio subterráneo isleño.

Otros periódicos, como la ya desaparecida edición en papel de *Diari de Balears*, o el magacín *Fora Vila Verd*, han servido de altavoz en muchas ocasiones para acercar al gran público los descubrimientos bioespeleológicos, con artículos de conjunto sobre la fauna subterránea o sobre algunas nuevas especies descritas de cavidades. En Mallorca existe además una potente red de medios locales de prensa escrita, que muchas veces se han hecho eco de aspectos relacionados con la fauna subterránea (Figura 5). En la última década, las redes sociales han sido uno de los principales canales de divulgación, en pa-

Figura 5. Reportaje sobre fauna cavernícola mallorquina publicado en un periódico local.

ralelo al desarrollo y popularización de la fotografía digital. En el caso concreto de Mallorca, y en lo que se refiere a la fauna subterránea, han existido perfiles y páginas más o menos especializados.

Algunos bioespeleólogos han mantenido, en determinadas redes, importantes conjuntos de fotografías de fauna subterránea mallorquina, contenidos que en este caso concreto no están actualmente disponibles. En cambio, la presencia de publicaciones de este tipo sobre fauna subterránea de Mallorca es escasa actualmente, incluso en grupos dedicados a entomología.

Algunas conclusiones

A pesar del gran potencial turístico y la oferta espeleológica existente en la isla de Mallorca, con una historia directamente relacionada con el desarrollo de la biología subterránea, esta información científico- cultural no llega apenas a los millones de visitantes. Solo una minoría de las cuevas turísticas mallorquinas ha realizado un esfuerzo en este aspecto para comenzar a destacar en folletos y promociones

Figura 6. El reciente descubrimiento del poliqueto troglobio *Pollentia perezi* tuvo un importante seguimiento mediático.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

las riquezas faunísticas de sus cavidades como un valor añadido. Las instituciones científicas de Balears están haciendo un notable esfuerzo comunicativo para que sus estudios y descubrimientos, en este caso relacionados con la biología subterránea, lleguen al gran público (Figura 6). Por otra parte, revistas como *Papers de la SEB* (y antes de ella *Endins*) o el *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, a pesar de ser también publicaciones científicas, se pueden considerar medios de alta divulgación en los que es posible publicar artículos más generalistas dirigidos a un público más amplio, a los que actualmente se puede acceder más fácilmente gracias a su difusión en formato web o en redes sociales.

En este artículo se ha destacado el ejemplo del Museu Balear de Ciències Naturals, entidad que ha realizado un importante trabajo educativo ya que, desde 1992 hasta la actualidad, ha llevado a cabo actividades diversas para dar a conocer al gran público y a los escolares la bioespeleología balear y la importancia histórica de Mallorca en el desarrollo inicial de esta ciencia.

Finalmente cabría destacar que, aunque no sea una obra referida especialmente a la isla de Mallorca, la reciente publicación de la gran obra *Habitantes de la oscuridad*, coordinada por el Dr. Alberto Sendra (SENDRA et al., 2023), ha supuesto un gran hito en la correcta difusión de los valores biológicos del subsuelo, a nivel de alta divulgación, casi con el único antecedente en nuestro país de la obra del Dr. Xavier Bellés *Fauna cavernícola i intersticial de la península Ibèrica i les illes Balears* (BELLÉS, 1987).

Bibliografía

- BELLÉS, X., 1987. Fauna cavernícola i intersticial de la Península Ibèrica i les Illes Balears. Monografies Científiques 4, CSIC - Editorial Moll, 207 pp.
- BELLÉS, X., 2005. L'Essai sur les problèmes biospéologiques d'Émile Racovitza a cent anys de distància. Endins, 28: 19-24.
- CAPA, M., J. PONS & D. JAUME, 2022. Discovery of a new scale

worm (Annelida: Polynoidae) with presumed deep-sea affinities from an anchialine cave in the Balearic Islands (western Mediterranean). Zoological Journal of the Linnean Society, 196, 479- 502.
- COVES DE CAMPANET, 2024. Fauna endémica. https://www.coves-decampanet.com/es/fauna
- GARCIA, L., 2012. El Museo Balear de Ciencias Naturales de Sóller (Mallorca). Naturaleza Aragonesa, 29: 55-61.
- GINÉS, A. & L. GARCIA, 1995. El Carst com a recurs turístic natural a Mallorca. En: El dedesenvolupament turístic a la Mediterrània durant el segle XX:137-149. XIII Jornades d'Estudis Històrics Locals, 1994. Palma.
- GINÉS, A., 1992. Inauguració de la primera fase del "Museu Balear de Ciències Naturals" de Sóller. Bolletí de la Societat d'Història Natural de Balears, 35: 171-175.
- GINÉS, J. & A. GINÉS, 2011. Les coves turístiques de les Illes Balears: antecedents i estat de la qüestió. Endins, 35-Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 17: 333-344.
- GINÉS, J. & A. GINÉS, 2018. Aspectes històrics i bibliogràfics de les Coves del Drac(Manacor, Mallorca). Papers de la Societat Espeleològica Balear, 1: 21-47.
- GINÉS, J., 1995. Les coves turístiques de Mallorca / The touristic show caves of Mallorca. Endins, 20: 191-204.
- GRACIA, F., 2015. Les cavitats subaquàtiques de les zones costaneres del Llevant i Migjorn de Mallorca. Tesis Doctoral. UIB. 984 pp.
- RACOVITZA, E.G., 1905. Typhlocirolana moraguesi, n. g., n. sp., Isopode cavernicole des grottes du Drach (Baleares). Bulletin de la Société Zoologique de France. 30: 72-80.
- SENDRA, A. (Coord.), 2023. Habitantes de la oscuridad: Fauna Íbero-balear de las cuevas. Sociedad Entomológica Aragonesa. 752 pp.
- SENDRA, A., T. PÉREZ, B. CABALLERO, G. MASÓ, L. AROUX, M. PRIETO, MA. MONSALVE & A. GINÉS, 2023. Historia, un relato sobre hallazgos y descubrimientos. En: SENDRA, A. (Coord.): Habitantes de la oscuridad: Fauna Íbero-balear de las cuevas: 579-633. Sociedad Entomológica Aragonesa.
- SOCIETÉ ZOOLOGIQUE DE FRANCE, 1905. Séance extraordinaire du 26 avril 1905 ténue à Palma de Mallorca (Îles Baléares) sous la présidence d'honneur du professeur Odón de Buen et la présidence du Professeur Pruvôt. Bulletin de la Societé Zoologique de France, 30: 70-72.
- VADELL, M., 2015. Revisión de la fauna de invertebrados terrestres en las cuevas turísticas de las Baleares e impactos observados sobre las mismas. I, Coves de Campanet (Mallorca). IV encuentro Ibérico de biología subterránea, Sóller (Mallorca), septiembre de 2015. Libro de resúmenes.
- VICENS, M., 2008. Muere en Palma a los 91 años José Constantino Dragan, empresario, mecenas cultural y pionero del europeísmo. Obituario. Diario de Mallorca, edición digital, 22/08/2008. Palma.

LA INVESTIGACIÓN BIOLÓGICA COMO HERRAMIENTA PARA LA CONSERVACIÓN, SALUBRIDAD Y CONOCIMIENTO DE LA CUEVA DE NERJA (MÁLAGA)

Del Rosal Padial, Y.[1], Liñán Baena, C.[1,2], Fernández Rodríguez, L.E.[1]

1. Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja, Instituto de Investigación, Ctra. de Maro s/n, 29787, Nerja, Málaga. yolanda@cuevadenerja.es; cbaena@cuevadenerja.es; conservador@cuevadenerja.es
2. Universidad de Málaga, Facultad de Ciencias, Departamento de Ecología y Geología, Campus de Teatinos s/n, 29071, Málaga.

La Cueva de Nerja forma parte de un excepcional ecosistema subterráneo habitado por diferentes comunidades de seres vivos que han despertado el interés de los investigadores prácticamente desde el descubrimiento de la cavidad, en 1959. Durante los primeros años, los trabajos de investigación relacionados con la biología subterránea fueron de carácter puntual y, por tanto, con resultados limitados. Poco a poco, la investigación biológica fue adquiriendo más importancia, en particular tras la creación de la Comisión Científica Asesora y del Instituto de Investigación. En la actualidad, forma parte de un trabajo de investigación interdisciplinar que articula las diferentes líneas de trabajo necesarias para la conservación de la cueva y de su patrimonio. En el caso concreto de la biología, el conocimiento científico adquirido ha permitido controlar, eliminar o prevenir los procesos de biodeterioro en la cueva y proteger la salud de trabajadores y visitantes, entre otros aspectos.

Palabras clave: biología subterránea, conservación, cueva turística, investigación.

Introducción

La Cueva de Nerja, con un volumen de 300.000 m^3, un desarrollo topográfico de casi 5 Km (S.E.M., 1985) y una media de 450.000 visitantes anuales, es una de las cuevas turísticas más importantes de España. Declarada Bien de Interés Cultural y Lugar de Interés Geológico de Relevancia Internacional, sus voluminosas salas albergan singulares espeleotemas en los que se dibuja parte del legado de nuestros antepasados de la prehistoria, las pinturas rupestres. Este patrimonio natural y cultural puede ser disfrutado durante una visita a la cueva y a su museo. No obstante, la cueva también es un ecosistema subterráneo que da cobijo a numerosos seres vivos, que suelen pasar desapercibidos porque son muy difíciles de observar durante una visita, pero que son imprescindibles para el equilibrio y conservación de la cueva. Esta supuesta "ausencia" dificultó su puesta en valor por los responsables de la gestión de la cavidad durante los primeros momentos de su investigación científica. A pesar de ello, la biología de la Cueva de Nerja ha conseguido despertar el interés de los investigadores prácticamente desde su descubrimiento.

Historia de la investigación biológica

Un año después del descubrimiento de la cueva, D. Antonio Cobos, miembro del Instituto Español de Entomología, llevó a cabo el primer trabajo de investigación biológica de la cueva, tal y como él mismo describe: *"...en noviembre de 1960 me trasladé a Maro (aldea anexa de Nerja inmediata a dicha cavidad natural) durante una semana con objeto de recoger y estudiar su coleopterofauna cavernícola, presumiblemente inédita".* Su trabajo permitió la descripción del carábido *Platyderus lusitanicus speleus*, (hoy *Platyderus speleus*), la

primera especie troglobia y endémica de la cavidad (COBOS, 1961).

El segundo trabajo de investigación biológica, realizado por la Sociedad Excursionista de Málaga, tuvo que esperar 25 años. Sus resultados incrementaron el inventario de artrópodos con la incorporación de nuevos araneidos, coleópteros, isópodos, ortópteros y dipluros (WALLACE, 1985). En esa época, la incorporación al Consejo Científico Asesor de D. Fernando Marín, doctor en medicina y catedrático de la Universidad de Málaga, consolidó la investigación biológica, y auspició el desarrollo de nuevos proyectos más duraderos y ambiciosos que los realizados hasta el momento. En ellos, además de la fauna de la cavidad, también se tuvo en cuenta la investigación biológica del medio exterior, así como de los procesos de alteración microbiológica de los sustratos (CARRASCO CANTOS & MARÍN GIRÓN, 1991; TINAUT, 2000; DOCAMPO, 2008, entre otros). La formación sanitaria del profesor Marín motivó su interés por el medioambiente de la cueva en relación con la salud de visitantes y trabajadores. Así, desarrolló una línea de investigación en torno a la calidad microbiológica del aire, pionera en el medio subterráneo y que ha sido modelo a seguir por otras cavidades de ámbito nacional e internacional (DEL ROSAL et al., 2007). Los resultados de estos trabajos pusieron en valor a la biología como disciplina necesaria en el marco de los trabajos sistemáticos de investigación, conservación y difusión de la Cueva de Nerja, destinados a compatibilizar su conservación con su uso turístico. De este modo, el Consejo Científico Asesor fomentó la incorporación de un biólogo al Instituto de Investigación de la Cueva de Nerja, formado hasta entonces por dos arqueólogos y una geóloga.

En 2007 se incorporó al Consejo Científico Asesor la Dra. Mariona Hernández Mariné, profesora de la Universidad de Barcelona y miembro de su Departamento de Botánica. Esta investigadora, especialista en biodeterioro del patrimonio cultural debido a la actividad de microorganismos fotótrofos, impulsó de forma significativa la investigación de la contaminación microbiológica de la cueva, una problemática común a la mayoría de las cuevas turísticas (HERNÁNDEZ-MARINÉ, 2009). Su trabajo, basado en la combinación de novedosas técnicas de microscopía y análisis molecular, ofrecerá valiosa información taxonómica, ecológica y fisiológica de los principales agentes de biodeterioro, que permitirán el diseño de eficaces protocolos de control.

Y así, poco a poco, la biología encontró su lugar en la Cueva de Nerja.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

La investigación biológica en la actualidad

En la actualidad, la investigación biológica de la Cueva de Nerja se enmarca en un Proyecto General de Investigación (PGI), de naturaleza interdisciplinar y acorde a la legislación de Patrimonio Histórico Andaluz. Su objetivo principal es dotar a los gestores de la información, herramientas y mecanismos necesarios para el desarrollo de una gestión responsable basada en la conservación, investigación y difusión de la cueva y su entorno. Este PGI reúne a más de un centenar de investigadores, especialistas en diferentes disciplinas, que participan en los subproyectos que lo integran. Estos subproyectos están liderados por una de las tres disciplinas que conforman la investigación de la cueva: arqueología, geología y biología. En el ámbito de esta última, la investigación contempla el estudio de las poblaciones de invertebrados cavernícolas (inventario, vulnerabilidad, variaciones estacionales, fenología, geoestadística, protección...), la caracterización taxonómica y ecológica de los biofilms fotótrofos (evolución, fisiología, cartografía, daño al sustrato, control, prevención...), la vulnerabilidad de las pinturas rupestres frente a los procesos de biodeterioro (análisis digital, aerobiología, técnicas moleculares, antibiosis...) y el control de las alteraciones antrópicas (inventariado, catalogación, cartografiado, protocolos de actuación...), entre otros aspectos (FIGUEROA, 2014; BARRANCO, 2017; SÁIZ, 2017; SÁNCHEZ-CASTILLO, 2017; DEL ROSAL, 2018).

Toda la información generada a partir de la investigación ha constituido la base de un programa de conservación preventiva de la Cueva de Nerja que permite prevenir o, en su caso, minimizar los daños, mediante el control de los factores de riesgo, tanto naturales como antrópicos. Entre las líneas que integran este programa de conservación se encuentran:

a) Medidas para la protección del medio exterior, relacionadas con las edificaciones, impermeabilización de los suelos, fauna, vegetación, elementos contaminantes, etc.

b) Medidas para la protección del medio interior, relacionadas con los elementos y trabajos de habilitación turística, control medioambiental, tareas de limpieza y mantenimiento, control de actividades potencialmente dañinas (p.e., el Festival de Música y Danza), etc.

c) Protocolos de visita, que contemplan el horario de apertura y cierre, número de visitantes, modelo de visita, normas, etc.

d) Difusión y divulgación de los valores patrimoniales de la cavidad, a través de actividades diversas y adaptadas a los diversos sectores de la sociedad, que permitan el aprendizaje y disfrute y generen sentimientos de respeto y de protección hacia la cueva y su entorno.

Además, es importante resaltar que, a pesar de que la investigación biológica de la Cueva de Nerja está aplicada, directamente, a su conservación, los trabajos realizados a lo largo de los años han reportado interesantes hallazgos científicos, como la descripción de nuevas especies para la ciencia, tanto de artrópodos como de cianobacterias y microalgas (SENDRA et al., 2004, entre otros). En otras ocasiones, este trabajo científico supera las fronteras del medio subterráneo y colabora con la investigación astrofísica destinada a la búsqueda de vida en el planeta Marte, el control del cambio climático o la búsqueda de nuevas sustancias bioactivas (JURADO et al., 2020; GARCÍA-GOMEZ et al., 2023; OJEDA, 2023).

A modo de conclusión, resulta evidente que el esfuerzo y trabajo realizado a lo largo de los años por investigadores e investigadoras en relación con la biología de la Cueva de Nerja ha permitido su desarrollo. Y, con ello, su reconocimiento y puesta en valor como disciplina necesaria para la conservación del patrimonio y de la salubridad de la cueva y sus visitantes, así como para el avance del conocimiento científico y del bienestar social.

A tod@s, muchas gracias (Figura 1).

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

Figura 1. Algunas imágenes obtenidas durante los trabajos de investigación biológica desarrollados en la Cueva de Nerja en relación a los biofilms fotótrofos, la fauna invertebrada o el análisis de la calidad microbiológica del aire.

Bibliografía

- BARRANCO, P., 2017. Proyecto General de Investigación para la Conservación de la Cueva de Nerja. *Estudio de los invertebrados cavernícolas* 2017-2021. Inédito.
- CARRASCO CANTOS, F. & F. MARÍN GIRÓN (Coord.) 1991. Investigación Biológica y Edafológica Cueva de Nerja (Málaga). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja, 2. Patronato de la Cueva de Nerja*, 211 pp.
- COBOS, A., 1961. Exploración entomológica de la Gruta de Nerja (Málaga). *Eos: revista española de entomología,* 37(2): 125-133.
- DEL ROSAL, Y., E. MARTÍNEZ-MANZANARES, F. MARÍN-GIRÓN, C. LIÑÁN & M. SIMÓN, 2007. Análisis de la calidad microbiológica aérea en el interior de la Cueva de Nerja. *Cuevas turísticas: aportación al desarrollo sostenible*, 181-190.
- DEL ROSAL, Y. (Coord.), 2018. Análisis, impacto y evolución de los biofilms fotosintéticos en espeleotemas. El caso de la Cueva de Nerja (Málaga, España). *Trabajos sobre la Cueva de Nerja*, 7. Patronato de la Cueva de Nerja, 325 pp.
- DOCAMPO, S., 2008. Estudio aerobiológico de la atmósfera de la costa oriental de Málaga (sur de España) e incidencia de las esporas fúngicas en el interior de la Cueva de Nerja. Tesis doctoral. Universidad de Málaga.
- FIGUEROA, F.L. & N. KORBEE, 2014. *Caracterización bio-óptica y fotosintética de biofilms de algas en las Cuevas de Nerja: bases funcionales para su gestión 2014-2018*. Proyecto de Investigación. Archivo Fundación Cueva de Nerja. Inédito.
- GARCÍA-GÓMEZ, L., T. DELGADO, F.J. FORTES, Y. DEL ROSAL, C. LIÑÁN, L.E. FERNÁNDEZ, L.M. CABALÍN & J. LASERNA, 2023. Remote Laser-Induced Breakdown Spectroscopy of Bacterial Growths in Carbonate Rocks in a Mars-like Atmosphere. *Astrobiology*. 23(11):1179-1188.
- HERNÁNDEZ-MARINÉ, M. 2009. *Análisis de los procesos de biodeterioro en la Cueva de Nerja inducidos por biofilms 2009-2017*. Alteraciones del soporte de las pinturas. Proyecto de Investigación. Archivo Fundación Cueva de Nerja. Inédito.
- JURADO, V., Y. DEL ROSAL, J.L. GONZÁLEZ-PIMENTEL, B. HERMOSÍN & C. SAIZ-JIMÉNEZ, 2020. Biological control of Phototrophic Biofilms in a Show Cave: The Case of Nerja Cave. *Applied Sciences,* 10, 3448.
- OJEDA, L., 2023. Comportamiento de los gases de efecto invernadero (metano y dióxido de carbono) en cuevas kársticas: el caso del sistema Cueva de Nerja (SE de España) y de las cuevas de Wombeyan (New South Wales, Australia). T*rabajos sobre la Cueva de Nerja*, 8. Fundación Pública de Servicios, 130 pp.
- SÁNCHEZ-CASTILLO, P., 2017. *Estudio taxonómico de las microalgas de la Cueva de Nerja 2017-2020*. Proyecto de Investigación Archivo Fundación Cueva de Nerja. Inédito.
- S.E.M., 1985. La Cueva de Nerja. Grupo de Exploraciones Subterráneas de la Sociedad Excursionistas de Málaga, 88 pp.
- SENDRA, A., M.D. LARA, F. RUIZ AVILÉS & A. TINAUT, 2004. Une nouvelle espèce du genre *Plusiocampa Silvestri*, 1912 (Diplura, Campodeidae) et données pour sa reconstruction paléobiogéographique dans les Bétiques. *Subterranean Biology*, 2: 113-122.
- TINAUT, A, M.D. LARA & A. RUIZ-AVILES, 2000. *Entomofauna de la Cueva de Nerja (Málaga) 2000-2002*. Proyecto de Investigación. Archivo Fundación Cueva de Nerja. Inédito.
- WALLACE MORENO, M., 1985. Estudio de la fauna cavernícola de la Cueva de Nerja. *En:* Grupo de Exploraciones Subterráneas de la Sociedad de Excursionistas de Málaga (eds.). *La Cueva de Nerja,* 28-35.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

EFECTOS DE LA LUZ EN LA FOTOSÍNTESIS Y SÍNTESIS DE FICOCIANINA EN *Cavernulicola chilensis* (RHODOPHYTA)

Arisi, E.I.[1,2], Belletinni, C.[1,2], Moreira, B.R.[2], Boff, C.M.[2], Vansuita, G.V.[2], Treichel, H.[3], Vicedo, J.J.[1], Korbee, N.[4], Del Rosal, Y.[5], Figueroa, F.L.[4], Bonomi-Barufi, J.[2]

1. Universidad Católica de Valencia, Instituto de Investigación en Medio Ambiente y Ciencia Marina IMEDMAR, Carrer Guillem de Castro, 94, 46001, Valencia, España. eemarisi@gmail.com; costanza.bellettini8@gmail.com; jorge.juan@ucv.es
2. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas, Departmento de Botânica, Laboratório de Ficologia, Florianópolis, 88040-900, Santa Catarina, Brasil. bruna.rm01@gmail.com; quemdissemaria@gmail.com; jose.bonomi@gmail.com; gabriela.vansu@gmail.com
3. Universidade Federal da Fronteira Sul, Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos (LAMIBI), Erechim, RS, Brasil. helentreichel@gmail.com
4. Universidad de Málaga, Instituto de Biotecnología y Desarrollo Azul, Cam. Loma de San Julián, 2, 29004, Churriana, Málaga, España. nkorbee@uma.es; felixlfigueroa@uma.es
5. Fundación Pública de Servicios Cueva de Nerja, Instituto de Investigación, Ctra. de Maro s/n, 29787, Nerja, Málaga, España. yolanda@cuevadenerja.es

El alga unicelular *Cavernulicola chilensis* (Schwabe) H. S. Yoon, S. I. Park, D. E. Bustamante, M. S. Calderon y A. Mansilla 2023 es una especie rodofita que crece en paredes y suelos de cuevas formando biofilms, bajo iluminación artificial, siendo considerado un organismo extremófilo por crecer a dosis muy bajas de radiación fotosintética. La cepa fue aislada y cultivada en laboratorio bajo diferentes condiciones lumínicas para la determinación del espectro de acción de la fotosíntesis a partir de la fluorescencia de la clorofila a, y también para la optimización de la síntesis de ficocianina considerando variaciones de disponibilidad de nitrógeno y luz. La capacidad de transportar electrones disminuyó en las longitudes de onda de los 410 nm y en luces entre 600 a 670 nm. El rendimiento de ficocianina se vio afectado tanto por la intensidad lumínica como por la concentración de $NaNO_3$, así como por la interacción entre ambos factores. Una mayor intensidad lumínica (40-50 µmol m^{-2} s^{-1}), combinada con una menor concentración de $NaNO_3$, incrementaron la producción de ficocianina alrededor de 3,3 veces. Estos resultados proporcionan una información interesante a la hora de elegir longitudes de onda que disminuyan el desarrollo de la especie en las paredes y suelos de la cueva y también de aprovechar las capacidades metabólicas de la especie en potenciales aplicaciones biotecnológicas de la ficocianina en el futuro.

Palabras clave: *Cavernulicola chilensis*, espectro de acción, luces monocromáticas, nutrientes, optimización de ficocianina.

Introducción

Cavernulicola chilensis (Schwabe) H. S. Yoon, S. I. Park, D. E. Bustamante, M. S. Calderon y A. Mansilla 2023 fue identificada como nueva especie por Schwabe en 1936, en algunas cuevas de la costa central de Chile. Fue nombrada *Cyanidium caldarium* var. *chilense* (Schwabe 1936) por su similitud morfológica a la especie ácido-termófila *Cyanidium caldarium* (Tilden) Geitler 1993 (DARIENKO Y HOFFMANN, 2010; HOFFMANN, 1994). Sin embargo, desde el punto de vista ecológico se trata de una especie mesófila y neutrófila, que crece en espeleotemas, paredes y suelo de las cuevas, expuesta al aire (aerófita), como en el caso de la Cueva de Nerja en España (DEL ROSAL et al., 2015). En 2023, fue reclasificada taxonómicamente en una orden aparte por H. S. Yoon, S.I. Park, D. E. Bustamante, M. S. Calderón y A. Mansilla, con la creación del género *Cavernulicola* para abrigar estas algas rojas no acidófilas.

C. chilensis destaca por su capacidad de prosperar a muy bajas inten-

sidades lumínicas. De hecho, las colonias de esta especie tienen un mejor desarrollo en las zonas más oscuras de las cuevas, donde los valores de irradiancias están comprendidos entre 1- 10 µmol m^{-2} s^{-1} (AZÚA-BUSTOS & VICUÑA, 2010; HOFFMANN, 1994). Diversos estudios han demostrado que *C. chilensis* es una de las únicas especies eucariota fotosintética capaz de vivir en los límites de la zona fótica (AZÚA-BUSTOS & VICUÑA, 2010; DARIENKO & HOFFMANN, 2010). Esto le permite colonizar nichos ecológicos donde otros microorganismos fotoautótrofos competidores no pueden sobrevivir, lo que supone una clara ventaja adaptativa (AZÚA-BUSTOS & VICUÑA, 2010; DEL ROSAL et al., 2015). La capacidad de esta especie de sobrevivir a intensidades de luz bajas indica que posee una maquinaria fotosintética altamente eficiente y sensible (AZÚA-BUSTOS & VICUÑA, 2010; AZÚA-BUSTOS et al., 2009; DEL ROSAL et al., 2015). En este sentido, resulta interesante investigar su rendimiento de ficobiliproteínas y los factores ambientales que le afectan. Además, el aprovechamiento de la luz tan baja puede optimizarse al conocer las longitudes de onda que son efectivamente empleadas para la fotosíntesis, bajo el concepto del espectro de acción biológica (BJÖRN, 2015).

La intensidad y la calidad lumínicas pueden influir en la biosíntesis de ficobiliproteínas tanto positivamente como negativamente, según la especie y otros factores ambientales influyentes. La aclimatación a intensidades de luz medio-bajas generalmente suele estimular la síntesis de estos pigmentos accesorios, mientras la síntesis de pigmentos se reprime con intensidades de luz excesivas (TOUNSI et al., 2023; ZITTELLI et al., 2023).

El objetivo de este estudio fue producir un espectro de acción para las tasas de transporte de electrones y una optimización para la síntesis de ficocianina en *C. chilensis*.

Materiales y métodos

Material biológico

Se utilizó una cepa de *C. chilensis* aislada a partir de la Cueva de Nerja, y mantenida en medio líquido en la colección de cepas del Laboratorio de Ficología de la Universidade Federal de Santa Catarina. Inicialmente la cepa se inoculó a crecer en un matraz de 500 mL por triplicado, recibiendo el medio nutritivo BG-11 de Allen (1968), en temperatura de 22°C, fotoperiodo de 12h, bajo aireación continua en 27 µmol $m^{-2}s^{-1}$ de luz blanca, y conteniendo 8,9 mM de $NaNO_3$. Las algas se mantuvieron hasta su aclimatación en estas condiciones. Enseguida fueron inoculadas en medio de cultivo en placas de Petri y medio sólido de agar nutriente, enriquecido con BG-11 para el experimento 1, y reinoculadas en condiciones diversas de luz y concentración de $NaNO_3$ de acuerdo con el diseño experimental compuesto central (CCD) del experimento 2.

Experimento 1 – Obtención del espectro de acción de la fotosíntesis a partir de fluorescencia in vivo de Clorofila a asociada al Fotosistema II

Las muestras fueron inoculadas en medio sólido de agar-nutriente, y permanecieron creciendo a lo largo de 3 meses, hasta formarse un biofilm de la especie por encima de la placa de Petri. Trece placas fueron preparadas, y entonces fueron incubadas en irradiancias emitidas por 10 lámparas de LED de luces monocromáticas, con picos de emisión de radiación en las longitudes de onda de 412, 440, 500, 520, 570, 590, 600, 665, 685 y 730 nm. Los rangos de las irradiancias utilizadas para cada LED fueron los siguientes, respectivamente: 4,5-23, 90-533, 83-505, 173-871, 52-384, 42-195, 32-243, 93-655, 173-544 y 28-103 µmol fotones $m^{-2}s^{-1}$. Se hicieron incubaciones secuenciales, a lo largo de 30 minutos en 5 irradiancias en cada lámpara, en nivel creciente, partiendo de la irradiancia más baja hasta la más alta. Al final de cada una de las 5 incubaciones secuenciales se aplicaron tres pulsos de saturación en regiones independientes del biofilm, y cada uno fue tratado como una réplica distinta, mediante un fluorímetro Water-PAM (Walz GmbH, Alemania) con la fibra óptica posicionada por encima del biofilm de *C. chilensis*. Eso permitió el cálculo de los rendimientos cuánticos efectivos (YII). Por otro lado, se estimaron las absortancias del cultivo y se calcularon tasas de transporte de electrones (ETR), conforme la metodología de FIGUEROA et

al. (2003). Tras recibir los pulsos de saturación, las placas permanecieron durante 5 minutos en oscuridad antes de la siguiente exposición a la irradiancia siguiente durante otros 30 minutos, y así hasta que se realizaron las cinco incubaciones. A partir de los datos de ETR frente al Log de irradiancias, se calcularon las pendientes de ajustes de funciones lineales a cada uno de los colores de luces monocromáticos. El efecto significativo de las longitudes de onda con respecto a los valores de las pendientes (aquí denominadas como efectividad de ETR) se analizó a partir de un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, y las diferencias entre los promedios se verificó a partir del test a posteriori de Tukey ($p<0,05$).

Experimento 2 - Optimización de la síntesis de ficocianina en luz blanca

Tras el periodo de aclimatación de los cultivos en las condiciones generales de cultivo, se realizaron curvas de crecimiento para determinar el momento en el que la especie se encontraba en crecimiento exponencial. Entonces, muestras de *C. chilensis* en fase exponencial de crecimiento fueron reinoculadas al 10% v/v de 400 mL en 29 frascos de Erlenmeyer que se mantuvieron en condiciones de cultivo de acuerdo con el diseño experimental CCD, lo cual se presenta en la tabla 1, conteniendo las muestras, y los valores de cantidad de luz y de $NaNO_3$ añadidos a los cultivos. El experimento tuvo una duración de 17 días.

Después de finalizado el periodo de cultivo, las muestras se cosecharon por centrifugación, siendo los pellets lavados con agua destilada para eliminar las sales, según ONAY (2021). El material de las muestras se congeló a -40°C por 12h, enseguida se liofilizó, se pesó para obtener la producción de biomasa por tratamiento, parte de esta biomasa se empleó para la extracción de ficocianina, de acuerdo con GORGICH et al. (2020). La cuantificación de ficocianina (FC) se hizo por espectrofotometría, de acuerdo con la fórmula de BEER & ESHEL (1985).

El análisis estadístico para el ANOVA y la producción de modelos de superficie de respuesta (RSM) se realizó con el software Minitab®.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

Muestra	Punto	Luz		$NaNO_3$	
		µmol $m^{-2}s^{-1}$	Código	µM	Código
1*	angular	11	-1	2644	-1
2*	angular	43	+1	2644	-1
3*	angular	11	-1	15056	+1
4*	angular	43	+1	15056	+1
5*	axial	50	+1,414	8850	0
6*	axial	4	-1,414	8850	0
7*	axial	27	0	17625	+1,414
8*	axial	27	0	74	-1,414
9	central	27	0	8850	0
10	central	27	0	8850	0
11	central	27	0	8850	0
12	central	27	0	8850	0
13	central	27	0	8850	0

Tabla 1. Resumen del diseño experimental central compuesto (CCD) conteniendo las condiciones en las cuales las algas fueron cultivadas, dentro de los rangos de luz y concentraciones de $NaNO_3$ añadidas a los cultivos. Las muestras marcadas con un asterisco (*) fueron replicadas tres veces.

Resultados y discusión

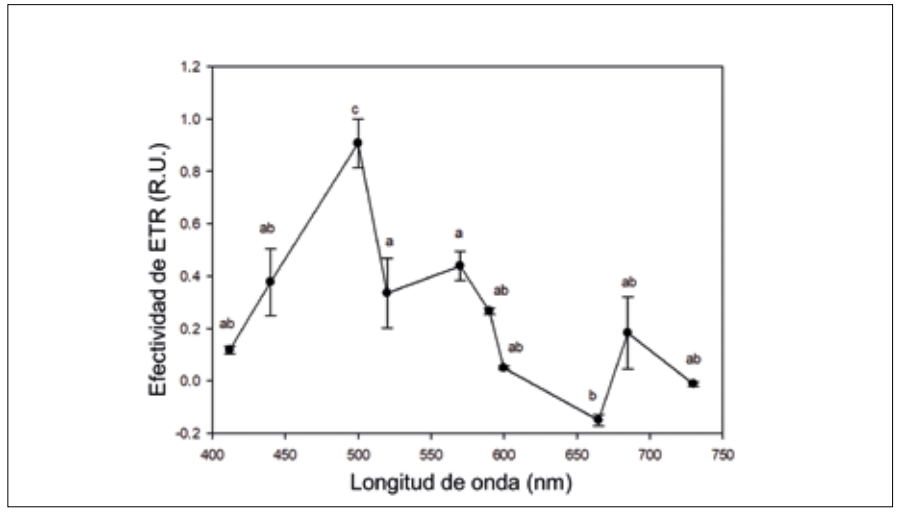


Figura 1. Espectro de acción de la fotosíntesis medida a partir de tasas de transporte de electrones de *C. chilensis* expuesta a diferentes intensidades luminosas en diferentes longitudes de onda. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$) tras el test de Tukey.

La figura 1 presenta el espectro de acción de la fotosíntesis de *C. chilensis* teniendo en cuenta la efectividad de transportar electrones. Se observa que las longitudes de onda presentaron efecto significativo en la variabilidad de las respuestas ($p<0,05$) y que la mayor efectividad de transportar electrones se encontró cuando el alga fue expuesta a valores de luz alrededor de 500 nm. Merece la pena destacar también que las calidades espectrales del violeta (412 nm) y del naranja y rojo (entre 600 y 665 nm) fueron las menos aprovechadas para transportar electrones. El espectro de acción obtenido para *C. chilensis* es diferente de otros anteriormente observados para algas rojas (LÜNING & DRING, 1985), en los cuales se encontraba un menor aprovechamiento de la luz azul para la liberación de oxígeno por parte del proceso fotosintético. Se puede acreditar las diferencias encontradas, porque realmente los valores de irradiancia utilizados para obtener el espectro de acción fueron mucho más altas que aquellas que recibe la especie en su ambiente natural dentro de la cueva, entre 1 y 10 µmol m^{-2} s^{-1} (AZÚA-BUSTOS & VICUÑA, 2010; HOFFMANN, 1994).

La síntesis óptima de ficocianina (FC) en *C. chilensis* obedeció a un modelo lineal con interacción entre los factores luz (X_1) y disponibilidad de nitrógeno (X_2) ($p=0,003$, $R^2=92,1\%$): FC (mg g-1) = 0,18 + 0,162 X_1 −0,098 X_2 −0,039 $X_1 \cdot X_2$, estimulada en las mayores cantidades de luz y menores concentraciones de nutriente, conforme se observa en la Figura 2. A partir de la curva de contorno y del modelo establecidos, se puede detectar que la síntesis de ficocianina en *C. chilensis* produjo los mayores valores entre 35 a 50 µmol m^{-2} s^{-1} de intensidad lumínica y entre 1000 y 4000 µM de concentración de $NaNO_3$. Hay que destacar que *C. chilensis* crece en su ambiente natural a intensidades lumínicas de entre 1 y 10 µmol m^{-2} s^{-1} (AZÚA-BUSTOS & VICUÑA, 2010; DEL ROSAL et al., 2015), por lo que su aparato fotosintético podría no estar adaptado para hacer frente a niveles de luz más elevados. De acuerdo con lo expuesto en AZUA-BUSTOS & VICUÑA (2010), podría ocurrir que intensidades lumínicas de 50 µmol m^{-2} s^{-1} (consideradas generalmente medias-bajas) causaran la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), incrementando el estrés metabólico de la célula. En este contexto, la ficocianina podría producirse en mayores

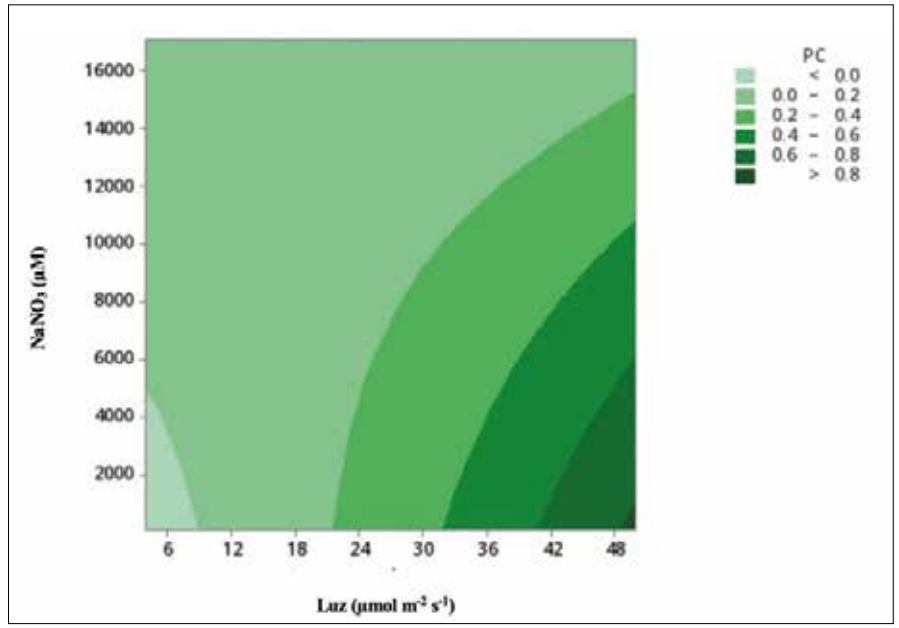


Figura 2. Gráfico de contorno de rendimiento de ficocianina de *C. chilensis* bajo diferentes condiciones de intensidad de luz y concentraciones de $NaNO_3$.

cantidades como mecanismo de protección contra el estrés foto-oxidativo, ya que posee propiedades antioxidantes (HSIEH-LO et al., 2019; TOUNSI et al., 2023).

Bibliografía

- ALLEN, M.M. (1968). Simple Conditions for Growth of Unicellular Blue-Green Algae on Plates. *Journal of Phycology*, 4(1):1-4 https://10.1111/j.1529-8817.1968.tb04667.x.
- AZÚA-BUSTOS, A., C. GONZÁLEZ-SILVA, R.A. MANCILLA, L. SALAS, R.E. PALMA, J.J. WYNNE, C.P. MCKAY & R. VICUÑA, 2009. Ancient photosynthetic eukaryote biofilms in an Atacama Desert coastal cave. *Microbial Ecology*, 58(3): 485-496. https://doi.org/10.1007/s00248-009-9500-5.
- AZÚA-BUSTOS, A. & R. VICUÑA, 2010. Chilean Cave Cyanidium.

En: J. SECKBACH & D.J. CHAPMAN (eds.), *Red Algae in the Genomic Age*, 427-439. Springer Science+Business Media B.V. https://doi.org/10.1007/978-90-481-3795-4_23.

- BEER, S. & A. ESHEL, 1985. Determining Phycoerythrin and Phycocyanin Concentrations in Aqueous Crude Extracts of Red Algae. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 36, 785-792, https://doi.org/10. 1071/MF9850785
- BJÖRN, L.O. 2015. Photobiology: *the science of light and life*. 3ª ed. New York: Springer.
- DARIENKO, T. & L. HOFFMANN, 2010. Subaerial algae and cyanobacteria from the archaeological remains of Carthage (Tunisia), including the record of a species of Cyanidium (Rhodophyta). *Algological Studies*, 135:41-60. https://doi.org/ 10.1127/1864-1318/2010/0135-0041.
- DEL ROSAL, Y., V. JURADO, M. ROLDÁN, M. HERNÁNDEZ-MARINÉ & C. SÁIZ-JIMÉNEZ, 2015. Cyanidium sp. colonizadora de cuevas turísticas. 978-984. En: M. MORENO-OLIVA, M.A. ROGERIO-CANDELERA, J.T. LÓPEZ- NAVARRETE & V. HERNANDÉZ-JOLÍN (eds.), *Estudio y Conservación del Patrimonio Cultural. Actas,* 170-173. Universidad de Málaga.
- FIGUEROA, F.L., R. CONDE-ÁLVAREZ, & I. GÓMEZ, 2003. Relations between electron transport rates determined by pulse amplitude modulated chlorophyll fluorescence and oxygen evolution in macroalgae under different light conditions. *Photosynthesis Research,* 75: 259-275.
- GORGICH, M., M.L.C. PASSOS, T.M. MATA, A.A. MARTINS, M.L.F.S. SARAIVA, & N.S. CAETANO, 2020. Enhancing extraction and purification of phycocyanin from Arthrospira sp. with lower energy consumption. *Energy Reports*, 6, 312-318. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.151
- HOFFMANN, L., 1994. Cyanidium-like algae from caves. En: J. SECKBACH (ed.), *Evolutionary Pathways and Enigmatic Algae: Cyanidium caldarium (Rhodophyta) and Related Cells,* 175-182. Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0882-9_13.
- HSIEH-LO, M., G. CASTILLO, M.A. OCHOA-BECERRA & L. MOJICA, 2019. Phycocyanin and phycoerythrin: Strategies to improve production yield and chemical stability. *Algal Research*, 42, 101600. https://doi.org/10.1016/j.algal. 2019.101600.
- LÜNING, K. & M.J. DRING, 1985. Action spectra and spectral quantum yield of photosynthesis in marine macroalgae with thin and thick thalli. *Marine Biology*, 87: 119-129. http://dx.doi.org/10.1007/bf00539419.
- TOUNSI, L., H. BEN HLIMA, F. HENTATI, O. HENTATI, H. DERBEL, P. MICHAUD & L.S. ABDELKAFI, 2023. Microalgae: A Promising Source of Bioactive Phycobiliproteins. *Marine Drugs*, 21(8): 440. https://doi.org/10.3390/ MD21080440.
- ZITTELLI, G.C., R. LAUCERI, C. FARALONI, A. MARGARITA, S. BENAVIDES & G. TORZILLO, 2023. Valuable pigments from microalgae: phycobiliproteins, primary carotenoids, and fucoxanthin. *Photochemical & Photobiological Science*, 22:1733-1789. https://doi.org/10.1007/s43630-023-00407-3.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

Plusiocampa baetica, EL FRÁGIL HEXÁPODO PRIMITIVO DE LA CUEVA DE NERJA (MÁLAGA)

Sendra, A.[1], Barranco, P.[2], Selfa, J.[3], Beltrán, L.[4]

1. Universidad de Alcalá. Departamento de Ciencias de la Vida, Facultad de Ciencias, Grupo de Investigación de Biología del Suelo y de los Ecosistemas Subterráneos. Alberto.Sendra@uv.es
2. Universidad de Almería, Departamento de Biología y Geología, CITE-IIB, Centro de Colecciones, CECOUAL, Ctra. Sacramento, s/n, La Cañada, 04120, Almería. pbvega@ual.es
3. Laboratori d'Investigació d'Entomologia, Departament de Zoologia, Universitat de València. jesus.selfa@uv.es
4. Hospital La Fe, València. lolesbb41@hotmail.com

Pretendemos acercar al público el poco conocido y frágil hexápodo primitivo *Plusiocampa baetica*. Es un morador exclusivo de la emblemática Cueva de Nerja. Lo ilustramos mediante material fotográfico y microfotográfico, que nos permite observar en detalle cómo es esta criatura que vive en total oscuridad y cuál es su origen. Verlo desplazarse por las paredes y suelos en la Cueva de Nerja (Málaga), con la delicadeza y fragilidad de un cuerpo jalonado delante y atrás por dos pares de esbeltos apéndices, es un verdadero descubrimiento. Es como tropezar de frente con una diminuta figura espectral, blanquecina y a veces transparente. La curiosidad nos lleva a preguntarnos ¿quién es? ¿cómo es posible que viva en perpetua oscuridad? ¿de dónde vino? Intentemos dar las respuestas.

Palabras clave: artrópodos, Campodeidae, dipluros, fauna cavernícola.

¿Quién es?

Plusiocampa baetica Sendra, 2004 es una especie emblemática que mora en exclusiva la Cueva de Nerja. Es un artrópodo del orden de los dipluros (diplura proviene de *diplos*: doble y de *oura*: cola) y como tal, un pariente cercano de los insectos, su grupo hermano. Los dipluros representan algo así como el último grupo en el "proceso evolutivo" que condujo a la aparición de los verdaderos insectos, los triunfadores de este mundo terrestre.

Si nos acercamos a él lo vemos como lo que es: un animal con cuerpo segmentado, cubierto por una cutícula o esqueleto externo traslúcido articulado. Sus numerosos segmentos están agrupados en tres regiones: (1) cabeza, que soporta un par de antenas frontales con artejos semejantes y una apertura oral interior rodeada por piezas bucales; (2) tórax, con tres segmentos y sendos pares de patas locomotoras; y (3) abdomen, con diez segmentos en cuyo extremo se insertan los cercos pluriarticulados que, en *P. baetica*, son extremadamente largos. La fotografía general y las ilustraciones de detalle de las figuras 1 a 3 nos muestran estas partes corporales y la disposición de las mismas en este frágil cuerpo.

¿Cómo es posible que viva en perpetua oscuridad?

No posee ojos, pero su cuerpo está plagado de numerosas sedas táctiles, sensilos, además de poros y sedas glandulares, que lo comunican con el exterior. Así puede percibir la vida que le rodea, incluyendo a sus propios congéneres. En las bases de estos receptores de la cutícula, de las pequeñas y grandes sedas, sobresalen parte de las células que se excitan al tocarlas con los movimientos mecánicos o al entrar en contacto con una superficie. En particular, las antenas

gozan de todo tipo de sensilos. En el último artejo, en una profunda invaginación apical emergen una serie de excrecencias de morfología compleja y microscópicamente perforadas. Éstas captan la humedad ambiental, pero también otras moléculas inorgánicas y orgánicas. Los diferentes sensilos que *forman* este órgano se asemejan a coliflores de tres capas concéntricas algo retorcidas. También podemos observar unos sensilos bellamente repujados con minúsculos poros formando coronas en cada artejo de las antenas. Su función se desconoce hasta ahora.

Las patas alargadas, en especial las tibias de nuestra especie de Nerja, sirven para separarlos del suelo. Es una buena estrategia para no tocar la fina película de agua que suele cubrir las paredes de la cavidad. Los extremos finales, los llamados pretarsos, adoptan formas bizarras con el fin de moverse en las superficies húmedas de la cueva o quedar adheridos a ellas por la profusión de finos peines.

Bajo el primer segmento de su abdomen, una plétora de glándulas, de hasta tres tipos diferentes en los machos y dos en las hembras, marcan el territorio y dejan rastros para que los paquetes de espermatozoides que depositan los primeros en el suelo puedan ser localizados por las segundas y así lograr fecundar sus óvulos. Siguen una estrategia de reproducción indirecta, sin contacto físico, en la que los dipluros son especialistas.

¿De dónde vino?

La pregunta debería recaer en el ancestro. *P.baetica* es el resultado de la colonización del ecosistema subterráneo en la región kárstica que se extendería más allá de los relieves calcáreos pertenecientes a la Sierra de Almijara, allí donde está excavada la Cueva de Nerja. ¿Y su ancestro? sin duda no vivía en la península ibérica. Su llegada debió producirse al comienzo de la orogénesis –formación de los relieves montañosos– de las Béticas. Viajaría en la microplaca de Alborán, que colisionó con la placa ibérica elevando los materiales de la cuenca de sedimentación. Sus parientes debieron alcanzar las tierras mediterráneas a mitad del Terciario cuando la antigua Asia se comunicó con éstas, posiblemente a través del puente que supuso la península de Anatolia. Todo hace suponer que el centro de origen de estos *Plusiocampa* Béticos se hallaba en Asia Central u oriental, donde este grupo, que posee una especial preferencia por los ecosistemas subterráneos profundos, muestra una particular, aunque poco estudiada diversificación.

En definitiva, *P. baetica* es una reliquia del pasado venida del lejano oriente. Un primitivo poblador de las tierras ibéricas que sobrevive en la Cueva de Nerja.

Una breve nota sobre el material y métodos empleados

Desde el descubrimiento de *P. baetica*, se han emprendido distintos proyectos de estudio biológicos de Cueva de Nerja (TINAUT et al., 2000; DEL ROSAL et al., 2009; CASTILLO et al., 2022). El más reciente incluyó el diseño de trampas que no necesitasen ser enterradas para no alterar la integridad del sustrato, estas trampas se denominaron “tipo túmulo”. Éstas fueron rellenadas con 50 ml con una solución compuesta por propilenglicol-cerveza en una proporción 4:1 y fueron cebadas con sobrasada. Se dispusieron un total de 60 trampas repartidas por toda la cavidad.

Todas las microfotografías han sido tomadas en el servicio de Microscopia de la Universitat de València. Previamente los especímenes colectados en alcohol de 70º fueron deshidratados en paso de alcohol de 95º y absoluto para ser posteriormente desecada para eliminar la totalidad del agua contenida, en un desecador de punto crítico, y poder introducirlo tras sombreado de oro-paladio en la cámara de vacío de un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (modelo Hitachi S4800).

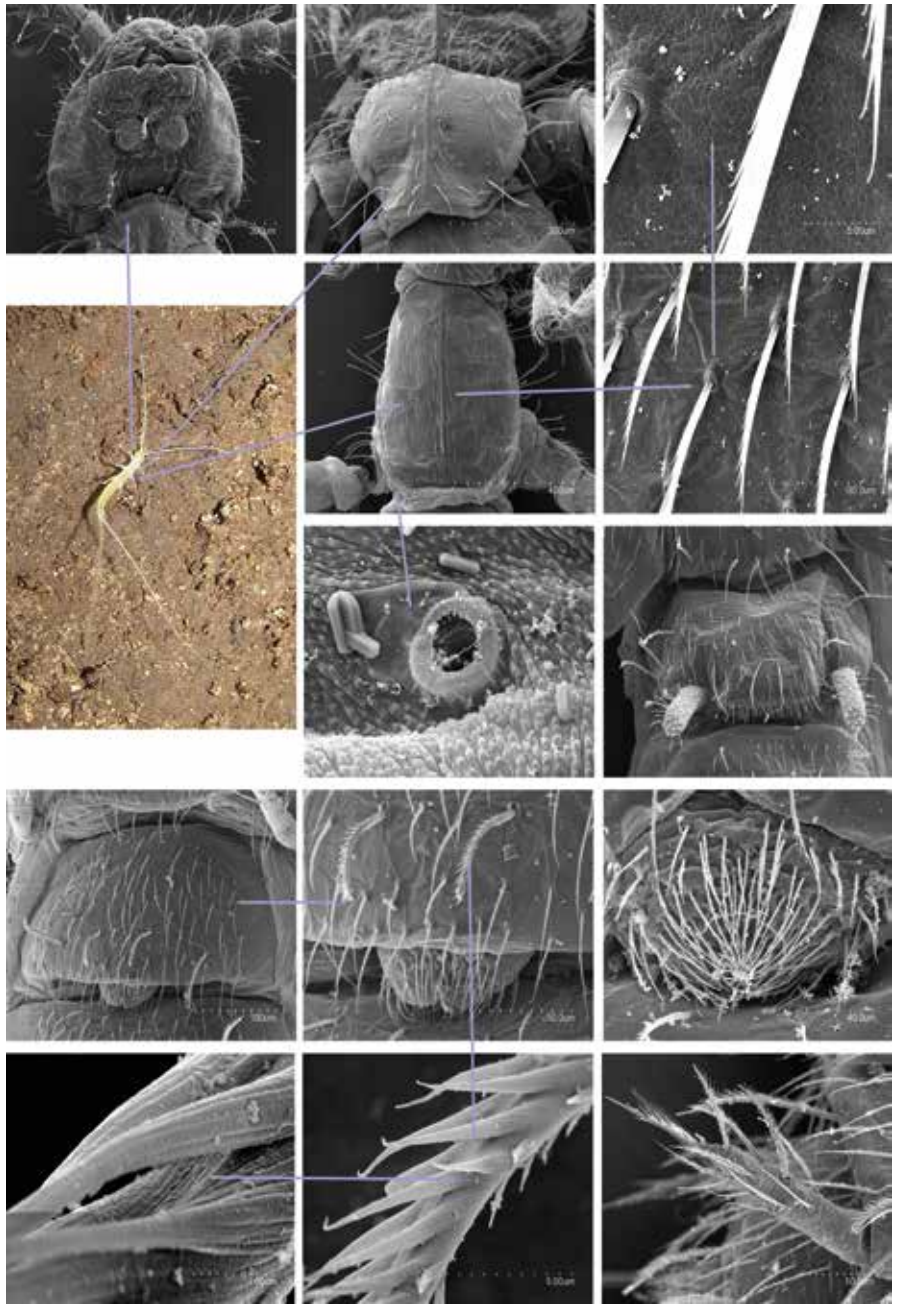


Figura 1. Fotografía del dipluro cavernícola *Plusiocampa baetica* de la Cueva de Nerja, acompañada de trece microfotografías de diversos detalles de su cuerpo.

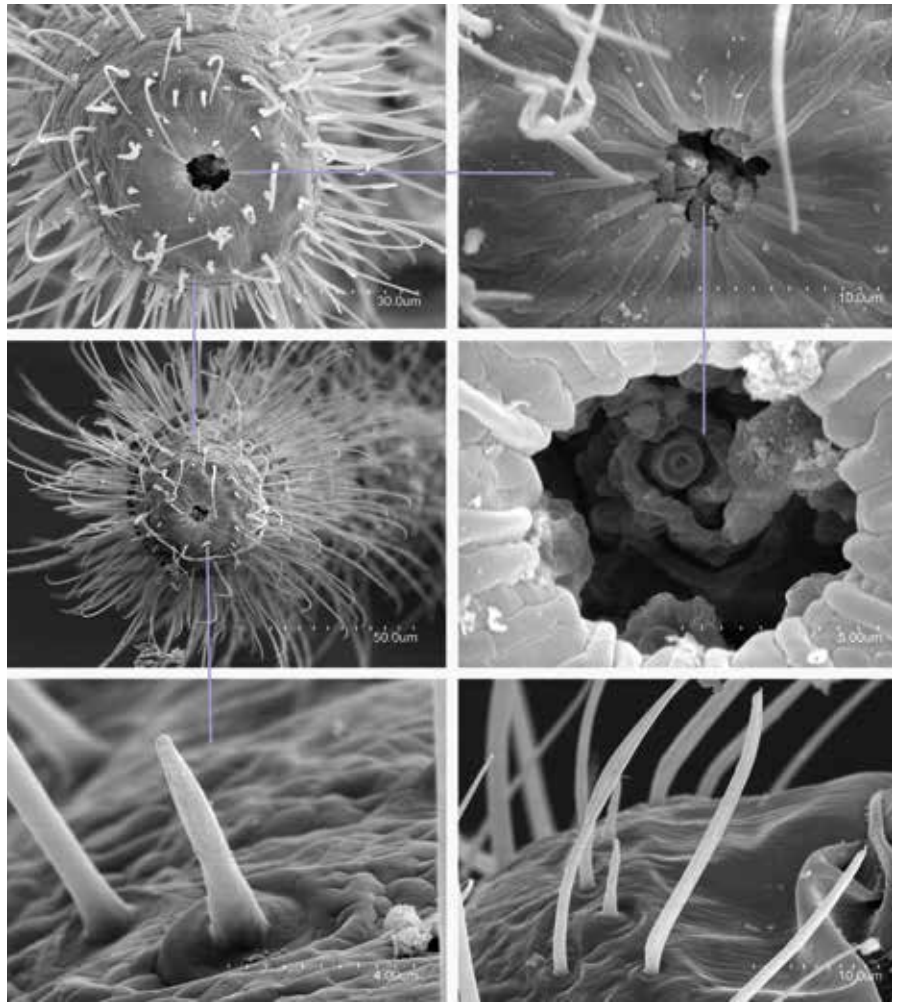


Figura 2. Seis microfotografías de diversas partes y estructuras de las antenas de *Plusiocampa baetica*, el dipluro cavernícola de la Cueva de Nerja, Málaga.

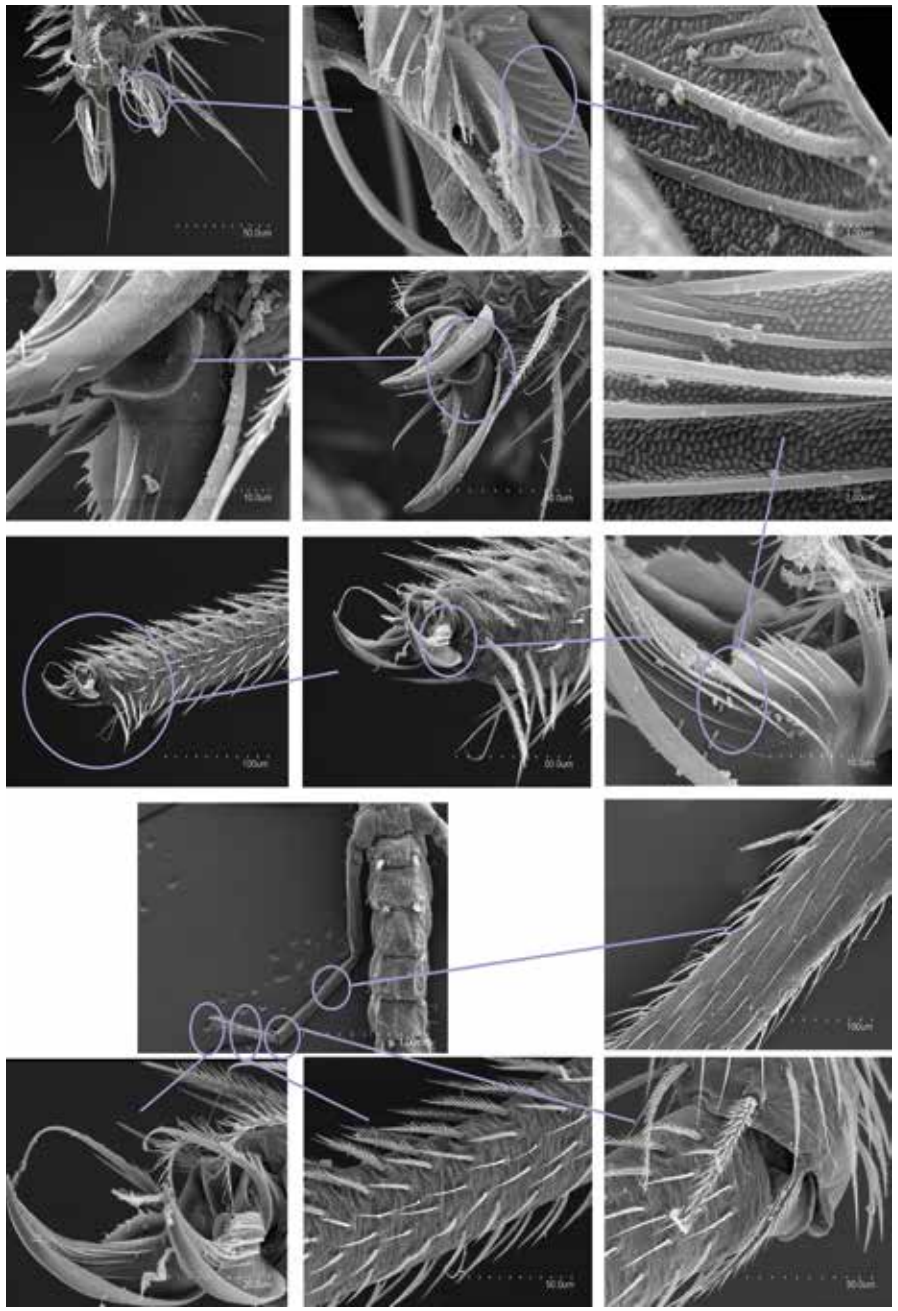


Figura 3. Catorce microfotografías de diversas partes y estructuras de las patas de *Plusiocampa baetica*, el dipluro cavernícola de la Cueva de Nerja, Málaga.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

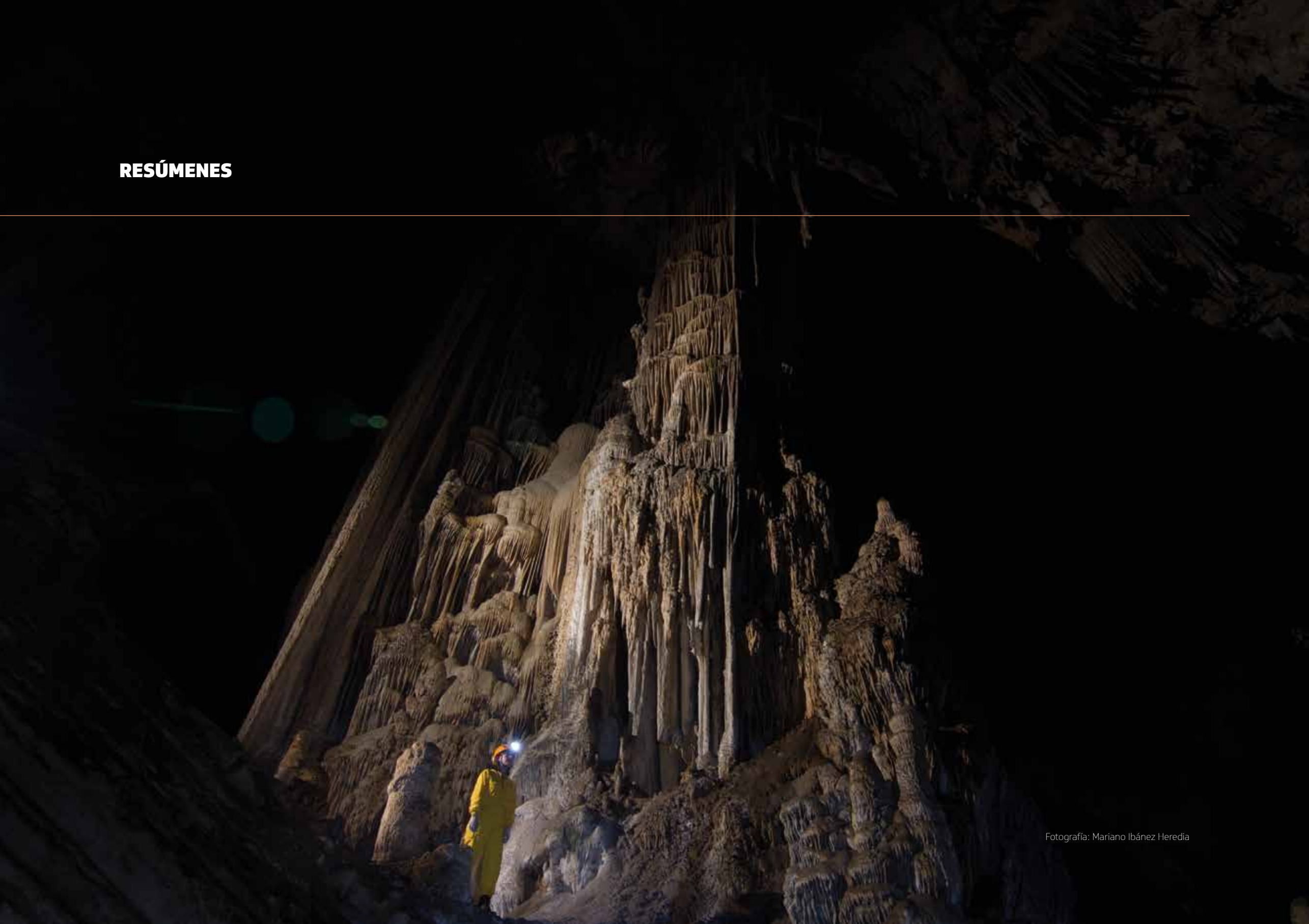
Agradecimientos

A nuestros compañeros Yolanda del Rosal Padial, Luis-Efrén Fernández Rodríguez y Cristina Liñán Baena del Instituto de Investigación Cueva de Nerja/Universidad de Málaga, junto a José Alberto Tinaut Ranera de la Universidad de Granada; y a todo el personal del servicio microscopia de la Universitat de València.

Bibliografía

- CASTILLO, P., P. BARRANCO, Y. DEL ROSAL, C. LIÑÁN, A. FERNÁNDEZ-CORTÉS, & A. TINAUT, 2022. Los habitantes invisibles de la Cueva de Nerja. En: Calaforra y Durán (eds.), *Minas y Cuevas: Patrimonio Geológico y Turístico*, 39-48, Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE), ISBN 978-84-123288-2-0.
- DEL ROSAL, Y., M.D. LARA, A. TINAUT & A. GARRIDO, 2009. La entomofauna de la Cueva de Nerja (Málaga). En: Durán y López (coords.), *Cuevas turísticas, cuevas vivas*, 91-100, Asociación de Cuevas Turísticas Españolas (ACTE), ISBN 978-84-613-3730-9.
- SENDRA, A., M.D. LARA, F. RUIZ-AVILES & A. TINAUT, 2004. Une nouvelle espèce du genre *Plusiocampa* Silvestri, 1912 (Diplura, Campodeidae) et données pour sa reconstruction paléobiogéographique dans les Bétiques. *Subterranean Biology* 2:113-122.
- SENDRA, A., D. ANTIC, P. BARRANCO, S. BORKO, E. CHRISTIAN, T. DELIC, F. FADRIQUE, A. FAILLE, L. GALLI, F. GASPARO, D. GEORGIEV, P.M. GIACHINO, L. KOVAC, M. LUKIC, P. MARCIA, K. MICULINIC, G. NICOLOSI, F. PALERO, K. PARAGAMIAN, T. PEREZ, S. POLAK, C.E. PRIETO, I. TURBANOV, D. VAILATI & A.S.P.S. REBOLEIRA, 2020. Flourishing in subterranean ecosystems: Euro-Mediterranean Plusiocampinae and tachycampoids (Diplura, Campodeidae). *European Journal of Taxonomy* 591: 1-138. https://doi.org/10.5852/ejt.2020.591.
- TINAUT, A, LARA, M.D. & RUIZ-AVILES, 2000. *Entomofauna de la Cueva de Nerja* (Málaga) 2000-2002. Proyecto de Investigación. Archivo Fundación Cueva de Nerja. Inédito.

RESÚMENES



Fotografía: Mariano Ibánez Heredia

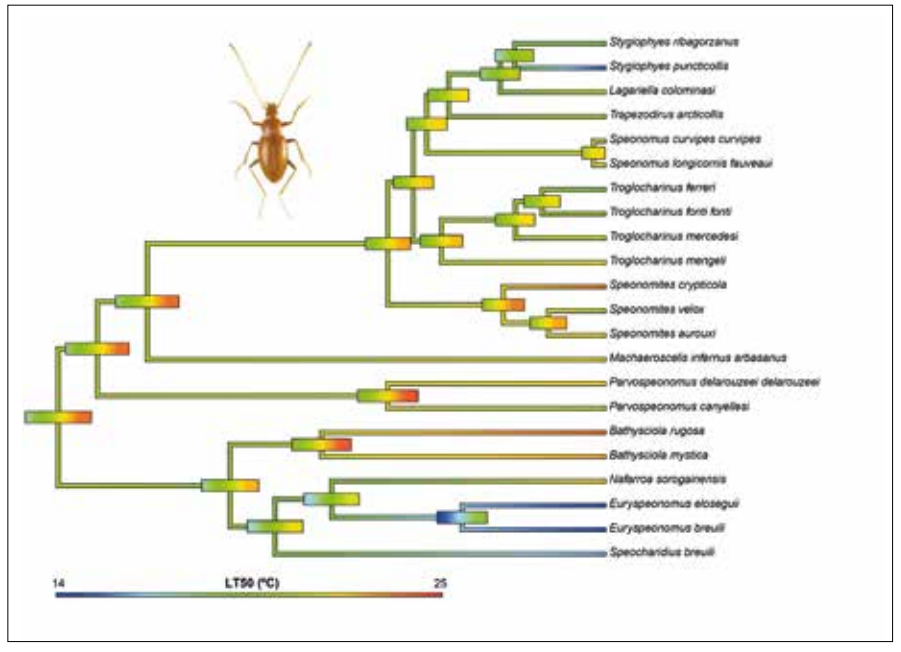
LIMITADO POTENCIAL DE RESCATE EVOLUTIVO FRENTE AL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LA FAUNA SUBTERRÁNEA

Pallarés, S.[1], Sánchez-Fernández, D.[1], Beruete, E.[2], Colado, R.[1], Fresneda, J.[3], Miralles-Núñez, A.[4], Plaza, J.[1], Villastrigo, A.[5]

1. Universidad de Murcia, Departamento de Ecología e Hidrología, Facultad de Biología, Campus de Espinardo, Espinardo, 30100, Murcia, España. susana.pallares@um.es; davidsan@um.es raquel.colado@um.es; jorge.plaza@um.es
2. Universidad de Navarra, Departamento de Biología Ambiental, C/ Irunlarrea 1, 31008, Pamplona, Navarra, España. eberuete@gmail.com
3. Ca de Massa, Llesp - El Pont de Suert, 25526, Lleida, España. ffresned@gmail.com
4. Servei de Fauna i Flora, Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya, C/ Foc 57, 08038, Barcelona, España. amiralles10@gmail.com
5. SNSB-Zoologische Staatssammlung München, Münchhausenstraße 21, 81247, Múnich, Alemania. adrianvillastrigo@gmail.com

El medio subterráneo es un excelente modelo para estudiar procesos evolutivos y evaluar los efectos del cambio climático en ecosistemas climáticamente estables. La vida bajo temperaturas constantes y recursos limitados durante millones de años puede haber relajado la presión selectiva sobre mecanismos fisiológicos costosos como, por ejemplo, los responsables de la tolerancia térmica en los organismos subterráneos, limitando su capacidad de ajuste evolutivo frente al calentamiento global. Este estudio combina datos del límite térmico superior de 22 especies de un clado pirenaico de coleópteros subterráneos (familia Leiodidae, tribu Leptodirini) con la filogenia del clado para estudiar la evolución de la tolerancia al calor en este linaje. El límite térmico superior de cada especie (Temperatura Letal 50%, LT50) se calculó a partir de experimentos de fisiología térmica, y varió entre 15-24 ºC en las especies estudiadas. La reconstrucción ancestral sugiere que la tolerancia térmica ha aumentado y disminuido en varios subclados de forma independiente. La tasa global de cambio evolutivo del límite térmico superior fue de 0,44 °C/Ma. Considerando solo los cambios evolutivos de aumento en la tolerancia térmica, la tasa fue de 0,26 ± 0,04 °C/Ma. Estas tasas son mucho menores que las estimadas en otros organismos ectotermos en ecosistemas superficiales (0,78 ± 0,23 °C/Ma) y aproximadamente 5 órdenes de magnitud inferiores al ritmo de aumento de la temperatura superficial previsto en los próximos 100 años. Estos resultados sugieren que las especies subterráneas que viven a temperaturas próximas a sus límites fisiológicos tendrán un limitado potencial de rescate evolutivo frente al calentamiento global.

Palabras clave: adaptación, ecosistemas subterráneos, fisiología de la conservación, reconstrucción ancestral, tolerancia térmica.



Reconstrucción ancestral de la tolerancia térmica (medida como LT50, la temperatura letal para el 50% de los individuos en una exposición de 7 días). Las barras en los nodos del árbol filogenético muestran el intervalo de confianza del 95% de los valores inferidos de LT50.

FAUNA ASOCIADA A LAS CAVERNAS GRANÍTICAS DE O FOLÓN Y A TRAPA (PONTEVEDRA)

Moreira Alonso, A.[1], Cordero-Rivera, A.[1]

1. Universidade de Vigo, ECOEVO Laboratorio E.E. Forestal, Campus Universitario, 36005, Pontevedra. adolfo.cordero@uvigo.gal

La fauna de las cuevas graníticas de Galicia ha sido poco estudiada, porque las cavidades suelen ser de pequeño tamaño y, por tanto, poco atractivas para la bioespeleología. Sin embargo, las cuevas de O Folón en Coruxo (Vigo) y las cuevas de A Trapa en Ribadelouro (Tui) son una excepción. En este trabajo se presenta un estudio faunístico de ambas cavidades. El estudio de O Folón, realizado entre 2016 y 2020, indicó que los grupos mejor representados son los Chilopoda y Diplopoda, destacando el platidésmido *Dolistenus iberoalbus* Mauriès, 2015, abundante en varios de los muestreos y que sólo era conocido por la serie tipo. También es de interés el hallazgo de *Lithobius validus* Meinert, 1872 y *Lithobius schubarti* Demange, 1959. En relación a los Opiliones, se ha encontrado *Nemastomella dentipatellae* Dresco, 1967, nunca antes citado en la provincia de Pontevedra. La clase mejor representada es la de los insectos, con 78 ejemplares pertenecientes a 7 órdenes. En 2020 iniciamos el estudio del sistema de A Trapa y se han ampliado los muestreos en O Folón. Estos muestreos se han realizado de forma manual y con dos tipos de trampas. En total se han recogido 397 individuos, 319 en el sistema de O Folon y 78 en A Trapa. Cabe destacar la presencia en ambas cuevas de la araña *Meta menardi* (Latreille, 1804). Se analizaron los resultados mediante una curva de rarefacción, que muestra que aún es necesario realizar mayor esfuerzo de muestreo para encontrar todas las especies presentes.

Palabras clave: arroyo subterráneo, cuevas graníticas, fauna cavernícola, faunística, temperatura.

Una de las especies más interesantes (por su rareza) encontradas en este estudio: el platidésmido *Dolistenus iberoalbus* Mauriès, 2015.

DINÁMICA POBLACIONAL DE LA ÚNICA COLONIA DE HIBERNACIÓN EN LA PENÍNSULA IBÉRICA DE MURCIÉLAGO RATONERO MEDIANO *(Myotis blythii)* Y MURCIÉLAGO RATONERO GRANDE *(Myotis myotis)*

Boyero Gallardo, J.R.[1,2], Tejedor Huerta, O.[1,2]

1. Grupo de Exploraciones Subterráneas de la Sociedad Excursionista de Málaga (G.E.S. de la S.E.M.), Centro Cultural José María Gutiérrez Romero, C/ República Argentina, 9, 29016, Málaga. jrboyero@gmail.com; olvido.tejedor@yahoo.es
2. Asociación Española para la Conservación y el Estudio de los Murciélagos (SECEMU), Museu de Ciències Naturals de Granollers, Avenida Francesc Macià, 51, 08402, Granollers, Barcelona.

La información sobre la hibernación de las especies de murciélagos cavernícolas, *Myotis blythii* (Tomes) (murciélago ratonero mediano) y *Myotis myotis* (Borkhausen) (murciélago ratonero grande), en la península ibérica es escasa. Hasta la fecha, la única colonia de hibernación documentada se localiza en una cavidad natural del Parque Nacional de la Sierra de las Nieves, en Málaga. Constituida mayoritariamente por *M. blythii* (93,75%), en el presente trabajo se describen las condiciones ambientales del refugio, caracterizado por su baja temperatura, y se analiza la dinámica poblacional desde 2008 hasta el presente. El periodo de ocupación principal abarca desde octubre hasta marzo, con un máximo poblacional en este último mes. Además, se estudia el efecto de las condiciones ambientales de humedad y temperatura en la estrategia de agrupamiento de la colonia. Los resultados muestran un comportamiento acorde con la hipótesis de activación, que sugiere que el agrupamiento minimiza las pérdidas energéticas durante la fase de activación, facilitando la transición a la eutermia. Finalmente, se discuten las posibles consecuencias del cambio climático para esta colonia. Este estudio ofrece valiosa información sobre la biología y ecología de estas especies, destacando la importancia de conservar sus hábitats de hibernación en un contexto de cambio climático.

Palabras clave: agrupamiento, cambio climático, Sierra de las Nieves.

Grupo de *M. blythii* y *M. myotis* en hibernación.

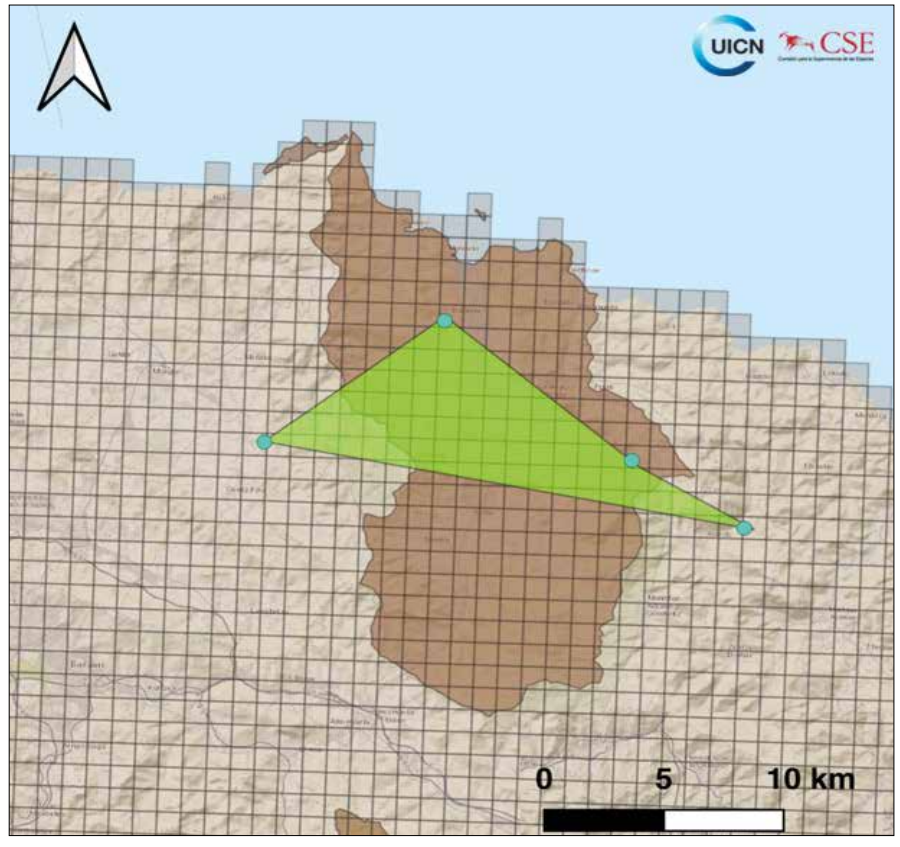
REFLEXIONES SOBRE LA APLICACIÓN DE CRITERIOS UICN A LAS ESPECIES DE INVERTEBRADOS SUBTERRÁNEOS

Rodríguez, P.[1], Sendra, A.[2], Camacho, A.[3], Oromí, P.[4]

1. Universidad del País Vasco, Departamento de Zoología, C/ Sarriena s/n, 48940, Leioa. pilar.tubifex@gmail.com
2. Universidad de Alcalá, Biología del suelo y de los ecosistemas subterráneos. Alberto.Sendra@uv.es
3. Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC), Dpto. de Biodiversidad y Biología Evolutiva, C/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006, Madrid.
4. Universidad de La Laguna, Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología, Ap. 456, La Laguna 38206, Tenerife. pedro.oromí@gmail.com

De un total de 102 invertebrados recogidos en la Lista Roja de especies de la UICN en España (MITECO, 2023), únicamente 4 especies de invertebrados subterráneos están incluidos en ella. Los criterios objetivos de la UICN para evaluar y clasificar las especies según el grado de vulnerabilidad presentan algunos problemas de aplicación cuando se trata de áreas de difícil acceso o de fauna de pequeño tamaño, como es el caso que nos ocupa. El objetivo de trabajo del Grupo de Especialistas es identificar los problemas relativos a la aplicación de los Criterios de IUCN para las especies subterráneas y la propuesta de soluciones. El listado de especies subterráneas endémicas de la región ibero-balear (SALGADO et al., 2022) ha supuesto un paso importante para la conservación de las especies. El siguiente paso es evaluar el estado de conservación o amenaza de las especies implementando los criterios de la UICN. Los criterios A (Reducción del tamaño poblacional actual o proyectada) y B (Tamaño de área de distribución geográfica) son probablemente los primeros que podemos manejar para muchas de las especies conocidas. Sin embargo, su aplicación requiere una discusión previa y el consenso sobre algunos conceptos clave (población, fragmentación, extensión de presencia, área de ocupación), sus limitaciones, así como el aprendizaje de los métodos UICN. Se elegirá para ello un grupo de especies que puedan servir de modelo para estudios futuros dirigidos a completar la base de datos indispensable para evaluar el estado de las especies amenazadas y su inclusión en la Lista Roja.

Palabras clave: Criterios UICN, incertidumbres, Lista Roja.



Mapa de distribución geográfica de una especie cavernícola para la aplicación del criterio B de la UICN.

TRABAJOS DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CUEVA DE NERJA
V ENCUENTRO IBÉRICO DE BIOLOGÍA SUBTERRÁNEA (NERJA, MÁLAGA)

A GIS-BASED REGIONALIZATION OF THE IBERIAN PENINSULA TO STUDY TERRESTRIAL SUBTERRANEAN BIODIVERSITY: DIPLURA AS A VALIDATION TAXON

Jiménez-Valverde, A.[1], Mingarro, M.[2], Sendra, A.[3,4]

1.Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC), Department of Biogeography and Global Change, C/ José Gutiérrez Abascal, 2, 28006, Madrid, Spain. alberto.jimenez@mncn.csic.es
2.Estación Experimental de Zonas Áridas (CSIC), Ctra. de Sacramento, s/n, 04120, Almería, Spain. mario_mingarro@mncn.csic.es
3.Universidad de Alcalá, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Vida, Grupo de Investigación de Biología del Suelo y de los Ecosistemas Subterráneos, Ctra. Madrid-Barcelona, km 33, 600, 28805, Alcalá de Henares, Madrid. Alberto.Sendra@uv.es
4.Universitat de València, Facultat de Magisteri, Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Avinguda dels Tarongers s/n, 45011, València, Spain.

Keywords: Balearics, Diplura, Iberian Peninsula, regionalization, troglobionts.

Biogeographical regionalizations represent simplified models of how life is distributed across geographical areas. These models are essential for cataloging species and ecosystems, addressing fundamental questions in biogeography, evolutionary biology, and systematics, and determining conservation priorities. Precisely defining these boundaries is a crucial initial step. Subterranean biodiversity is highly unknown and, at the same time, highly sensible to environmental alterations. Due to the scarcity of information, only a few rough sketches of proposed terrestrial subterranean bioregions have been possible for the Iberian Peninsula and the Balearic Islands. Utilizing GIS data on karst potential, geology, and tectonics, along with expert knowledge, we created a shapefile map classifying the territory's Universal Transverse Mercator (UTM) 10×10 km cells into 10 geokarstic regions. Known records of troglobiont Diplura species were compiled from different sources, spanning a time period from 1949 to 2024, and used to evaluate the validity of the proposal to account for diversity patterns. This map is not a final product but a preliminary zero-order hypothesis intended for further questioning and refinement.

Ejemplar de dipluro. Fotografía: Instituto de Investigación Cueva de Nerja.

SISTEMA CENTRAL Y SU POTENCIAL PARA EL ESTUDIO BIOESPELEOLÓGICO

Gaspar Santiago, J.[1]

1. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas, C/ José Antonio Novais, 12, Moncloa, Aravaca, 28040, Madrid. jaimegas@ucm.es

Palabras clave: bioespeleología, Guadarrama, muestreo, oscuridad, Reguerillo.

Con la intención de realizar un estudio bioespeleológico de las cavidades del Sistema Central (España), centrado en la Sierra de Guadarrama, hemos querido esbozar un programa elaborado de trabajo que expondremos aquí. En este marco geográfico, en el entorno de Segovia, existen varias cavidades de pequeño desarrollo, pero con agua abundante. También podemos encontrar cavidades de cierto desarrollo, como la de los Enebralejos en Prádena, la Cueva del Jaspe, la del Arenal o la Cueva de los 5 Duros. Y, ya en Ávila, la Cueva del Águila. Todas estas cavidades suponen, pues, un hábitat subterráneo potencial susceptible de ser colonizado por fauna cavernícola especializada, tanto por los denominados troglobios (de ambiente terrestre) como estigobios (de ambientes acuáticos). De este sistema se conocen unas pocas especies de insectos troglobios, buena parte de los cuales han sido descritos o citados en la emblemática Cueva del Reguerillo (Patones, Madrid). Jugamos en un entorno complicado, donde las adaptaciones tienen que ser muy específicas para poder sobrevivir a un entorno tan hostil como es la oscuridad y la humedad de las diferentes simas. Proponemos pues abordar un muestreo sistemático de las cavidades mencionadas, a las que se añadirán otras en función del conocimiento que se vaya obteniendo durante la elaboración del estudio. Cada cavidad deberá ser periódicamente muestreada con el uso de cebos adecuados de atracción, así como la observación directa con el uso de métodos bioespeleológicos testados.

Fauna de la cueva del Arenal, en Torreiglesias.

IMPACTO DE LA REDUCCIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA EN LA TOLERANCIA A DE COLEÓPTEROS SUBTERRÁNEOS

Plaza, J.[1], Sánchez-Fernández, D.[1], Beruete, E.[2], Colado, R.[1], Fresneda, J.[3], Miralles, A.[4], Pallarés, S.[1]

1. Universidad de Murcia, Facultad de Biología, Departamento de Ecología e Hidrología, Campus de Espinardo, 30100, Murcia, España. davidsan@um.es; raquel.colado@um.es; susana.pallares@um.es
2 Universidad de Navarra, Departamento de Biología Ambiental, C/ Irunlarrea, 1, 31008, Pamplona, Navarra, España. eberuete@gmail.com
3. Ca de Massa, Llesp - El Pont de Suert, 25526, Lleida, España. ffresned@gmail.com
4. Servei de Fauna i Flora, Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya, C/ Foc, 57, 08038, Barcelona, España. amiralles10@gmail.com

Para preservar la biodiversidad subterránea en el contexto actual de cambio climático, es esencial entender cómo será la respuesta de las especies a los cambios ambientales en el medio subterráneo, principalmente frente a un aumento de temperatura y un descenso de humedad. Varios estudios demuestran que los insectos de las cavernas presentan una tolerancia térmica reducida en comparación con las especies epigeas y que esta es más reducida conforme las especies son más especialistas del medio subterráneo profundo. Sin embargo, no se sabe el efecto potencial sobre la tolerancia térmica de otros factores limitantes, como la humedad. Para abordar esta cuestión, realizamos experimentos de supervivencia para medir el límite térmico superior (LT50) de varias especies cavernícolas en diferentes tratamientos de temperatura (10, 20, 23 y 25ºC) combinados con dos tratamientos de humedad: control (100%) y humedad reducida (80%). Se seleccionaron 6 especies de coleópteros pertenecientes al clado pirenaico de la tribu Leptodirini (Leiodidae, Chovelinae) con diferente grado de especialización al medio subterráneo profundo, estimado a partir de parámetros morfológicos. Los resultados revelan que para todas las especies la reducción de humedad del 100% al 80% provoca una disminución de la tolerancia térmica (medida como temperatura LT50 y tiempo de supervivencia promedio para cada temperatura). Los resultados apuntan a una mayor reducción de la tolerancia térmica como consecuencia de un descenso de humedad en las especies con mayor grado de especialización al medio subterráneo.

Palabras clave: coleópteros subterráneos, especialización, fisiología, morfología, tolerancia térmica.

Goteo de agua sobre estalagmita. Fotografía: Mariano Ibáñez Heredia.

LOS DIPLUROS (ARTRÓPODOS HEXÁPODOS) DE CUEVAS Y SIMAS EN LAS BÉTICAS

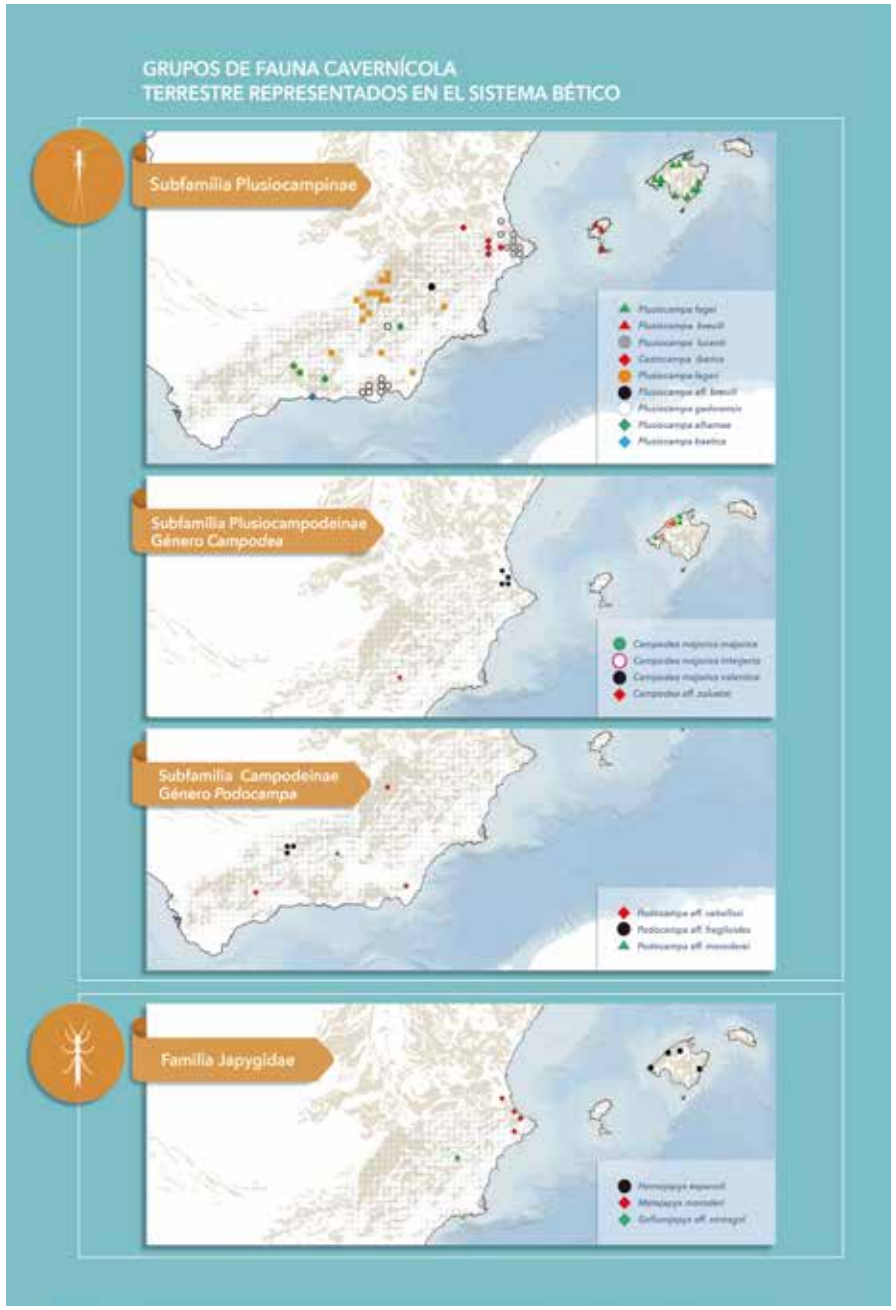
Sendra, A.[1,2], Pérez, T.[3], Selfa, J.[4], Beltrán, L.[5], Barranco, P.[6], Jiménez-Valverde, A.[7]

1. Universidad de Alcalá, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Vida, Grupo de Investigación de Biología del Suelo y de los Ecosistemas Subterráneos. Alberto.Sendra@uv.es
2. Museu d'Història Natural, Universitat de València.
3. Grupo de Espeleología de Villacarrillo (G.E.V.), Plaza 28 de Febrero, 5, 1º-2ª; 23300 Villacarrillo, Jaén. bioespeleologiaGEV@gmail.com
4. Laboratori d'Investigació d'Entomologia, Departament de Zoologia, Universitat de València. jesus.selfa@uv.es
5. Hospital La Fe, València. lolesbb41@hotmail.com
6. Universidad de Almería, Departamento de Biología y Geología, CITE-IIB, CECOUAL, Ctra. Sacramento, s/n, 04120 La Cañada, Almería. pbvega@ual.es
7. Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC), Department of Biogeography and Global Change, Madrid. alberto.jimenez@mncn.csic.esde Catalunya, C/ Foc, 57, 08038, Barcelona, España. amiralles10@gmail.com

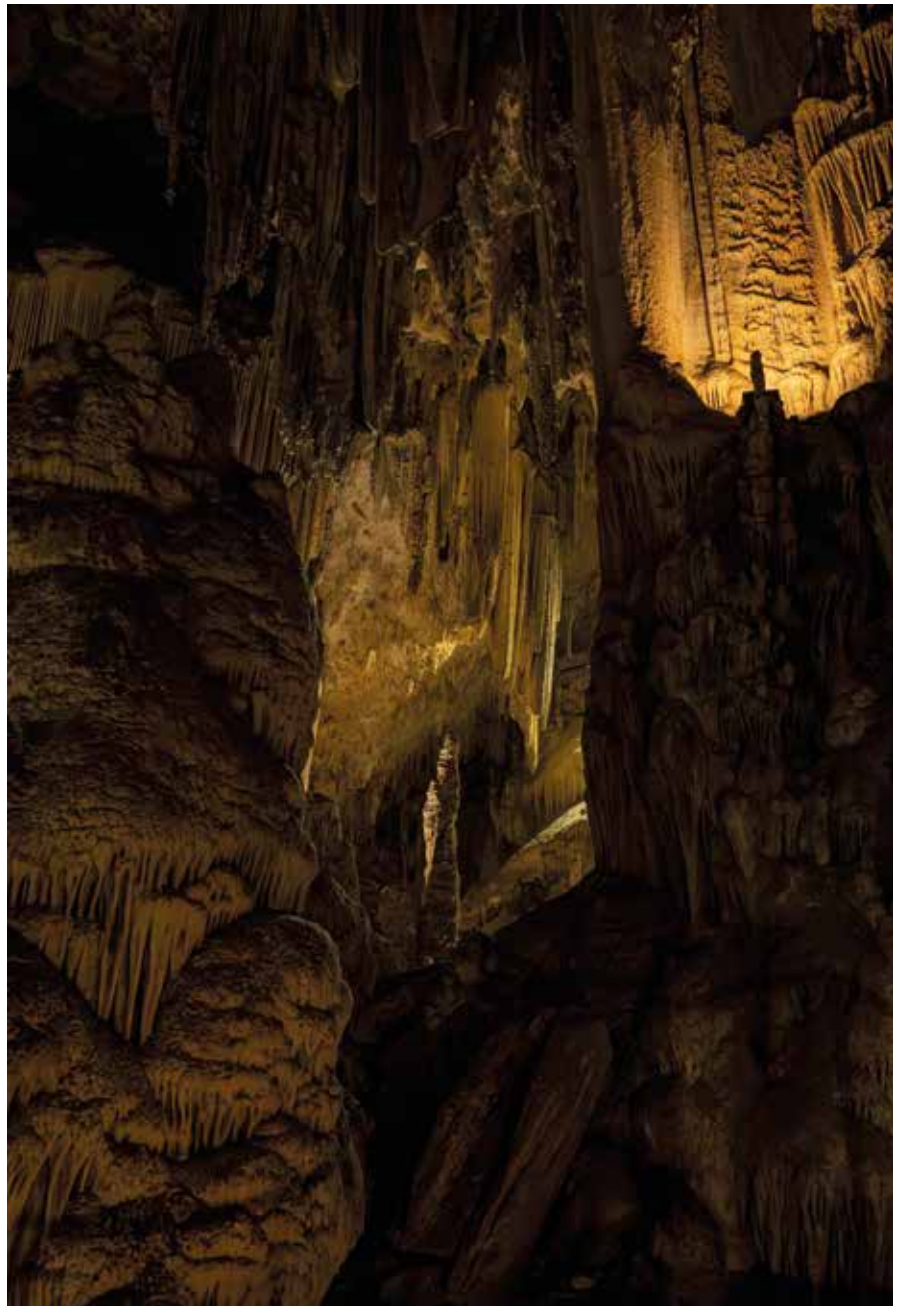
Si los insectos colonizan la casi totalidad de los ambientes terrestres continentales y de agua dulce, los dipluros se limitan a los hábitats subterráneos. Y es, bajo la superficie, donde los dipluros pueden llegar a ser más abundantes. Esta riqueza en dipluros podemos observarla en las cavidades de las Béticas. Repasamos la historia de los hallazgos y descubrimientos desde comienzos del siglo XX, aunque las primeras recolecciones se perdieron y no fueron estudiadas, el entomólogo francés Bruno Condé dio inicio a las primeras especies, en particular tres especies de las islas de Mallorca e Ibiza. Actualmente la diversidad conocida de dipluros cavernícolas béticos es de 18 especies y 2 subespecies de las que 7 formas son consideradas como afines, pendientes de describir formalmente. Estas cifras representan poco más del 30% de la diversidad de dipluros hallada en las cavidades ibero-baleares. Respecto a la representación en las Béticas de las familias y subfamilias estos taxones se distribuyen por número de especies: 14 campodeidos y 3 japígidos; y para las dos subfamilias de campodeidos, hay 5 campodeinos (*Campodea* y *Podocampa*) y 7 plusiocampinos (*Cestocampa* y *Plusiocampa*). Los japígidos cavernícolas están ausentes en otras regiones kársticas ibéricas, si bien la proporción de plusiocampinos/campodeinos se mantiene en otras áreas de la mitad nororiental de la península, pero los primeros desaparecen por completo en la occidental. La importancia de esta fauna de dipluros es tanto su relevancia por mantener en condiciones naturales las cadenas tróficas subterráneas como su relevancia como testigos de la conexión de tierras emergidas en el pasado.

Palabras clave: Béticas, campoideos, cavernícola, dipluro, japígidos.

Plusiocampa (Plusiocampa) lagari, un dipluro campodeido cavernícola ampliamente distribuido en cuevas y simas de los relieves prebéticos. Fotografía: P. Barranco.



Mapa de distribución de los dipluros cavernícolas de las Béticas. Imagen: A. Izquierdo.



Medio subterráneo. Fotografía: Mariano Ibáñez Heredia.

UNA NUEVA VÍCTIMA DE LA CRISIS CLIMÁTICA: LA FAUNA DE LA COVA DE LES MERAVELLES DE ALZIRA, VALÈNCIA

Sendra Mocholí, A.[1], Colado Manero, R.[2], Beltrán Barat, L.[3], Pérez Fernández, T.[4], Montagud Alario, S.[5], Monsalve Dolz, M.A.[6], Castelló, T.[7], Teruel Montejano, S.[8]

1. Universidad de Alcalá. Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias de la Vida, Grupo de Investigación de Biología del Suelo y de los Ecosistemas Subterráneos. Alberto.Sendra@uv.es
2. Universidad de Murcia, Facultad de Biología, Departamento de Ecología e Hidrología, Campus de Espinado, 30100, Espinardo, Murcia. raquel.colado@um.es
3. Hospital La Fe, València. lolesbb41@hotmail.com
4. Grupo de Espeleología de Villacarrillo (G.E.V.), Plaza 28 de Febrero, 5, 1º-2ª; 23300, Villacarrillo, Jaén. bioespeleologiaGEV@gmail.com
5. Museu d'Història Natural. Universitat de València.
6. Equipo de Seguimiento de fauna-Vaersa, Servicio de Vida Silvestre y Red Natura 2000. Generalitat Valenciana.
7. Asociación Española para la Conservación y Estudio de los Murciélagos.
8. Unión de Espeleólogos, València.

No podemos negar que cada año hace más calor. La crisis climática es real, aunque no éramos conscientes de que también está afectando a la vida que mora en las cuevas. Mostraremos un ejemplo, una cavidad emblemática, la Cova de les Meravelles de Alzira (València). Hace 150 años que conocemos la existencia de una rica fauna en su bello y espacioso interior. Una fauna poco a poco descubierta por naturalistas y científicos, y que se reveló abundante y original. Teníamos registro de treinta especies que moraban en su interior: ocho especies de quirópteros, y el resto de invertebrados, de los cuales seis viven exclusivamente en estos ecosistemas sin luz. El coleóptero *Anillochlamys tropica* fue el primero en descubrirse, era el año 1881. Hoy en día, sus diminutos cuerpos de brillo testáceo, antes abundantes, apenas se dejan ver. Las miríadas de invertebrados que tapizaban sus suelos o trepaban por sus paredes, las colonias de murciélagos que en sus techos se suspendían, han desaparecido o sus poblaciones han quedado drásticamente reducidas. Las finas películas de agua que cubrían las entonces brillantes formaciones pétreas ya no son lo que eran. Los fondos antes arcillosos hoy son polvo, y las vastas acumulaciones de ricos excrementos, el guano de los murciélagos, han simplemente desaparecido. La Cova de les Meravelles de Alzira, al igual que la superficie de la Tierra se está transformando ¿hasta cuándo?

Palabras clave: biodiversidad, cavernícola, conservación, ecosistema, subterráneo.

Anillochlamys tropica, coleóptero cavernícola endémico de la cavidad, sobrevive de exiguos restos de guano en una cavidad cada vez más seca. Fotografía: S Montagud Alario

COLONIZATION PATTERNS OF SUBTERRANEAN HABITATS BY THE CIXIIDAE IN LA RÉUNION ISLAND (HEMIPTERA: FULGOROMORPHA) SUGGEST BOTH EXTRINSIC AND INTRINSIC DRIVERS FOR CAVERNICOLY

Le Cesne, M.[1], Reynaud, B.[2], Bourgoin, T.[1]

1. Institut de Systématique, Évolution, Biodiversité, ISYEB-UMR 7205, MNHN-CNRS- Sorbonne Université-EPHE-Univ. Antilles, Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, France. le.cesne.maxime@gmail.com; thierry.bourgoin@mnhn.fr
2. UMR Peuplement végétaux et bioagresseurs en milieux tropicaux, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Université de la Réunion, Station de Ligne-Paradis, Agrocampus Pôle de protection des plantes, 7 chemin de l'IRAT 97410 Saint-Pierre, Réunion. bernard.reynaud@cirad.fr

To explain subterranean ecosystem colonization, two hypotheses are proposed: the Climatic Relict Hypothesis (CRH) where cavernicoly results from adverse climatic conditions, compelling species to seek refuge underground, while their epigean counterparts faced extinction (VANDEL, 1964), and the Adaptive Shift Hypothesis (ASH) suggesting an active colonization, by taxa exploring new ecological niches (HOWARTH, 1980). In 2007, WESSEL et al. suggested analyzing the geographic distribution of cave-dwelling species and their closest epigean relatives within a phylogenetic framework to discriminate between these extrinsic scenarios: the CRH would be supported by an allopatric distribution of the related taxa, while a parapatric distribution would favor ASH. Based on a phylogeny and distribution analyses of the Cixiidae on La Réunion, several key findings emerge: 1) two independent colonizations by distinct *Brixia* troglobiont species (one newly identified), have occurred within the *Brixia lalouettei*+ lineage; 2) the parapatric distribution observed of these troglobiont species with their close epigean relatives supports the ASH scenario, suggesting that active colonization has been the driving force for cavernicoly; 3) however, it cannot be excluded that glaciation around 22,000 years ago on La Réunion (GAROT et al., 2019) may have also forced species to colonize underground ecosystems during that period (CRH scenario), showing that WESSEL et al. (2007) test cannot efficiently discriminate between the two hypotheses; 4) separation of a purely epigean clade sister to an eutroglophil clade including species with both epygean and hypogean populations, and strictly troglobiont species, suggests that intrinsic genetic factors may have also facilitated adaptation to cavernicoly.

Keywords: Adaptative Shift,Climatic Relict, distribution, phylogeny.

A. Lava tube with roots from La Réunion Island. © Fred Melon. B. *Brixia briaili* Hoch and Bonfils, 2003 adult a cave-dwelling Cixiidae from la Caverne Tortue in La Réunion. © Maxime Le Cesne.

PATRONES DE RIQUEZA, RAREZA Y ENDEMICIDAD DE LA FAUNA TROGLOBIA EN CATALUÑA: IMPLICACIONES PARA SU CONSERVACIÓN

Miralles-Núñez, A.[1], Pallarés, S.[2], Caballero, B.[3], Sendra, A.[4,5], Franch, M.[1], Lobato- Vila, I.[3], Brañas, N.[3,6], Olmo-Vidal, J.M.[1], Sánchez-Fernández, D.[2]

1. Servei de Fauna i Flora, Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya, c/ Foc 57, 08038, Barcelona, España. amiralles10@gmail.com; martifranch@gencat.cat; josep.olmo@gencat.cat
2. Universidad de Murcia, Facultad de Biología, Departamento de Ecología e Hidrología, Campus de Espinardo, 30100, Murcia, España. susana.pallares@um.es; davidsan@um.es
3. Museu de Ciències Naturals de Barcelona, Av. Picasso s/n, 08003, Barcelona, España. bcaballerolo@bcn.cat; ilobato@bcn.cat; nbranasv@gmail.com
4. Ajuntament de València, Colecciones Entomológicas Torres-Sala, Servei de Patrimoni Històric, Passeig de La Petxina, 15, 46008, València, España. Alberto.Sendra@uv.es
5. Universitat de València, Facultat de Formació del Professorat, Departament de Didàctica de Les Ciències Experimentals i Socials, Av. Tarongers 4, 46022, València, España.
6. Myrmex. Serveis tècnics a les ciències naturals, 08023, Barcelona, España.

La península ibérica es considerada como un punto caliente de biodiversidad de fauna hipogea a nivel mundial. De hecho, se conocen alrededor de 1200 taxones troglobios o estigobios de los ecosistemas subterráneos de la Península, incluyendo géneros monotípicos, especies relictas de otras épocas y con claras adaptaciones a la vida en el medio subterráneo. Sin embargo, a excepción de Cantabria y Cataluña, no se han tenido muy en cuenta en los catálogos de fauna amenazada a nivel nacional o autonómico. En el caso de Cataluña, se han catalogado legalmente casi 40 especies troglobias como amenazadas y protegidas, siendo el 70% endémicas de este territorio. En este trabajo se han recopilado todos los registros de los casi 200 taxones de artrópodos troglobios citados en Cataluña, ya sea a partir de la bibliografía, datos propios o de ejemplares depositados en el Museo de Ciencias Naturales de Barcelona. Analizando los patrones de riqueza, rareza y endemicidad, se han identificado los puntos calientes de diversidad de artrópodos troglobios de Cataluña. Se ha evaluado la efectividad de los espacios naturales protegidos de Cataluña a la hora de proteger/representar tanto a las especies protegidas como los puntos calientes identificados. Por último, se propone un listado de zonas o cavidades prioritarias de conservación en las que centrar los esfuerzos de conservación de la fauna troglobia de Cataluña.

Palabras clave: arthropoda, endemismos, espacios naturales protegidos, península ibérica, puntos calientes.

Ejemplos de fauna troglobia en Cataluña.

DESCUBRIENDO LAS PLANARIAS ESTIGOBIAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA: ¿UN NUEVO GÉNERO, O UNA NUEVA ESPECIE DE CATALUÑA? (TRICLADIDA: PLANAROIDEA)

Miralles-Núñez, A. [1], Pinilla Rosa, M.[2], Solà, E.[3,4], Riutort, M. [4,5]

1. Servei de Fauna i Flora, Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya, c/ Foc 57, 08038, Barcelona, España. amiralles10@gmail.com
2. Universitat de Barcelona, Facultat de Biologia, Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals FORESTREAM, Avinguda Diagonal 643, 08028, Barcelona, Catalunya, España. manu.pinilla@ub.edu
3 Institut de Biologia Evolutiva (CSIC-Universitat Pompeu Fabra), Pg. Marítim de la Barceloneta, 37, 08003, Barcelona, Catalunya, España. eduardsola@ub.edu
4. Universitat de Barcelona, Departament de Genètica, Microbiologia i Estadística, 08028, Barcelona, Catalunya, España. mriutort@ub.edu
5. Universitat de Barcelona, Institut de Recerca de la Biodiversitat (IRBio), 08028 Barcelona, Catalunya, España.

El conocimiento de las planarias hipogeas de la península ibérica es muy limitado. Actualmente solo se han citado dos especies de planarias estigobias: *Dendrocoelopsis brementi* (de Beauchamp, 1919) y *Crenobia anophthalma* (Mrazek, 1907). De Dendrocoelidae se han localizado además algunos ejemplares en cavidades de los que no se ha podido identificar la especie. También se han encontrado dos especies nuevas que están pendientes de descripción. En el presente trabajo, se presenta el descubrimiento de lo que podría ser un nuevo género y/o especie de planaria de la superfamilia Planaroidea (Platyhelminthes: Tricladida) en Cataluña. Los ejemplares encontrados destacan por presentar una plena adaptación al medio subterráneo: coloración completamente blanca y sin órganos fotoreceptores, al igual que otras planarias estigobias ya conocidas. Los ejemplares recolectados tienen una morfología externa parecida a *Plagnolia vandeli* de Beauchamp & Gourbault, 1964, especie hipogea conocida del Pirineo central francés. Tras la secuenciación del 18S rDNA y su comparación con diversos géneros que presentan especies hipogeas de las familias Dendrocoelidae y Planariidae, se observa que la nueva secuencia se sitúa próxima a los géneros *Atrioplanaria* y *Crenobia*, pero claramente no pertenece a ninguno de los dos, sin embargo, no se puede descartar que pertenezca al género *Plagnolia* o algún otro del que no existen todavía secuencias publicadas. La especie solo se ha detectado habitando en pequeñas charcas, a priori permanentes, aunque su nivel fluctúa según las crecidas y las lluvias estacionales. Parece presentar abundancias bajas dentro de la cavidad, ya que solo se han encontrado menos de diez ejemplares tras varias visitas realizadas.

Palabras clave: ecosistemas subterráneos, estigobio, medio hipogeo, nuevo taxon, planaria.

Planaria estigobia.

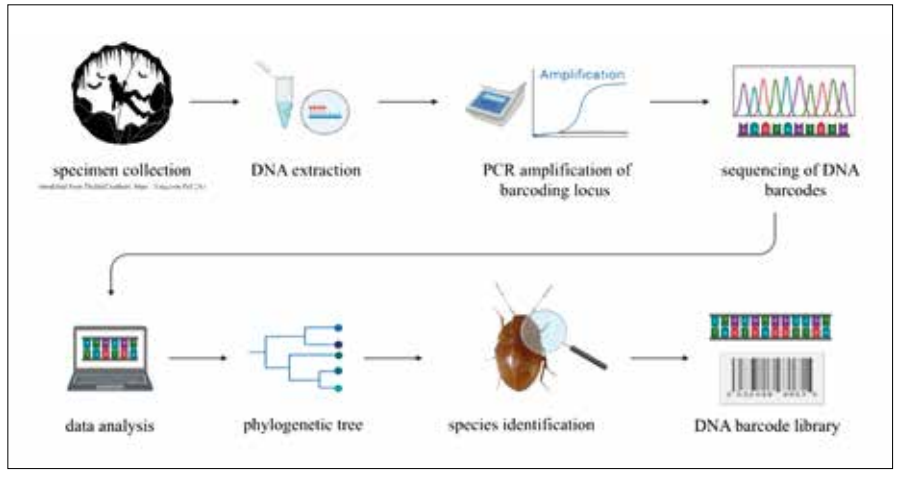
BARCODING. FAUNA HIPOGEA EN LOS PARQUES NATURALES DE LA DIBA

Caballero-López, B.[1], Brañas, N.[1,2], Mederos-López, J.[1], Gago, S.[1,2], Prieto, M.[1,2], Fadrique, F.[3], Domingo Milà, L.[4], Pons, D.[5], Lobato-Vila, I.[1]

1. Col·lecció d'Artròpodes del Museu de Ciències Naturals de Barcelona (MCNB), 08003 Barcelona. bcaballerolo@bcn.cat
2. Myrmex. Serveis tècnics a les ciències naturals, 08023 Barcelona.
3. Associació Catalana de Bioespeleologia (BIOSP), 43890 L´Hospitalet, Tarragona.
4. Federació Catalana d'Espeleologia (FCE), 08025 Barcelona.
5. Servei de Gestió de Parcs Naturals de la Diputació de Barcelona, 08036 Barcelona.

La fauna troglobia de invertebrados en Cataluña soporta diferentes grados de amenaza a su supervivencia, por lo que resulta del todo necesario actualizar los datos sobre las distribuciones actuales para apoyar y, si es necesario, ampliar las propuestas de decretos de protección de su hábitat. El objetivo general del proyecto era conocer el estado de conservación de especies interesantes propias del hábitat hipogeo que se localizan en la Red de Parques de la Diputación de Barcelona. El estudio se realizó entre 2022-2023 en dieciséis cavidades localizadas en tres reservas gestionadas por la Diputación de Barcelona: cinco cavidades en el Parque del Garraf, cinco en el Parque Natural y Reserva de la Biosfera del Montseny y seis en el Parque Natural de Sant Llorenç del Munt i l'Obac. Tras procesar la totalidad del material recolectado, se han contabilizado un total de 1.539 especímenes pertenecientes a 6 clases (Arachnida, Crustacea, Diplopoda, Chilopoda, Insecta y "Entognatha"), 18 órdenes, 27 familias y 32 especies. Además, se obtuvieron los códigos de barras de 123 ejemplares procedentes de 9 especies con los que se construyó un árbol de *neighbour-joining* a partir de las distancias genéticas de Tamura-Nei. Los resultados apuntan a que, aparentemente, no existe una estructuración geográfica clara en aquellas especies muestreadas de más de una cueva. Estos datos sugieren que la mayor parte de cavidades dentro de un mismo parque estarían conectadas y que los especímenes que habitan cada una de ellas formarían parte de una misma población.

Palabras clave: bioespeleología, cuevas, molecular, patrimonio natural, Cataluña.



Barcoding. Fauna hipogea en los parques naturales de la DIBA.

DIVERSIDAD Y ORIGEN DE LA FAUNA HIPOGEA TERRESTRE EN CANARIAS

Oromí Masoliver, P. [1]

1. Universidad de La Laguna, Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología, Av. Astrofísico Sánchez s/n, 38206, La Laguna, Tenerife. pedro.oromí@gmail.com

La fauna terrestre de Canarias consta de 236 especies de vida estrictamente hipogea, pertenecientes a 14 órdenes distintos de artrópodos. En este cómputo se incluyen las especies troglomorfas, las hipogeomorfas y las euedafomorfas conocidas solamente de ambientes hipogeos, no incluyéndose las de vida endogea. Esta diversidad es la más alta conocida entre todas las regiones de origen volcánico, tanto insulares como continentales. El origen oceánico de estas islas y la consiguiente desarmonía faunística han conducido a la aparición de especies y comunidades troglobiontes poco comunes en zonas continentales del dominio paleártico. Se hace un análisis comparativo de la fauna hipogea presente en cada una de las siete islas principales del archipiélago, razonando los parámetros geográficos, geológicos y ambientales que han condicionado tanto la diversidad como las diferencias en el grado de troglomorfismo en cada una de ellas. Se muestran cuáles son las preferencias de hábitat (medio subterráneo profundo y medio subterráneo superficial) del conjunto de especies, y qué especies pueden considerarse como relícticas por desaparición de sus ancestros epigeos. Se comenta qué grupos de troglobiontes pertenecen a grupos taxonómicos insólitos en faunas subterráneas continentales e insulares no volcánicas, y los casos de especies troglobiontes derivadas de ancestros litorales epigeos que han poblado el subsuelo de zonas montanas. Finalmente, se muestran ejemplos de evolución de troglobiontes canarios que se ajustan bien a la teoría del relicto climático o bien a la del cambio adaptativo.

Palabras clave: Canarias, evolución, diversidad, hábitats subterráneos, relícticos, troglobiontes.

Loboptera troglobia Martín & Izquierdo.

DIVERSIDAD OCULTA EN EL GÉNERO *Iberozospeum* JOCHUM, KNEUBÜHLER,PRIETO & NEUBERT, 2022 (GASTROPODA: ELLOBIIDAE), UN GÉNERO ENDÉMICO DE LA REGIÓN CANTABRO-PIRENAICA

Prieto, C.E.[1], Gómez-Moliner, B.[2], Alonso, Á.[3], Quiñonero-Salgado, S.[4], Raven, J.G.M.[5]

1. UPV-EHU, Departamento de Zoología, Astarloa 5, 48001 Bilbao (Bizkaia). carprisi@gmail.com
2. UPV-EHU, Facultad de Farmacia, Departamento de Zoología, Campus de Vitoria. benjamin.gomez@ehu.eus
3. Infiesto 7, 6ºJ, 33207, Gijón (Asturias). malakoiberia@yahoo.es
4. Associació Catalana de Malacologia, Museu Blau, 08019 Barcelona. sergioqs85@hotmail.com
5. Naturalis Biodiversity Center, PO.box 9517, 2300 R A Leiden (Netherlands). han.raven@naturalis.nl

El género subterráneo *Zospeum* Bourguignat, 1856 abarca una radiación europea de caracoles terrestres, aunque recientemente los ibéricos se han desgajado en un género propio, *Iberozospeum* Jochum, Kneubühler, Prieto & Neubert, 2022. La radiación ibérica se extiende desde Pirineos, donde *Iberozospeum bellesi* (Gittenberger, 1973) es endémico, hasta Asturias y norte de León, con las restantes ocho especies (de este a oeste): *Iberozospeum vasconicum* (Prieto et al., 2015) e *Iberozospeum biscaiense* (Gómez & Prieto, 1985) en el País Vasco; *Iberozospeum zaldivarae* (Prieto et al., 2015) en Sierra Salvada (Burgos/Álava); *Iberozospeum costulatum* (Prieto & Jochum, 2022) en Cantabria/Bizkaia; *Iberozospeum schaufussi* (Frauenfeld, 1862) en Cantabria occidental; *Iberozospeum percostulatum* (Alonso et al., 2018), *Iberozospeum gittenbergeri* (Jochum et al., 2019) e *Iberozospeum praetermissum* (Jochum et al., 2019) en Asturias oriental. WEIGAND et al. (2013) realizaron el primer análisis molecular incluyendo poblaciones cantábricas mostrando la existencia de siete linajes: Z2-C.Otxas: *biscaiense*, Z13-C.Linar (sp.n.1), Z14-C.Bosque: *praetermissum*, Z15-C.Los Cuervos (sp.n.2), Z16-C. Las Paúles (sp.n.3), Z17-C.Sandaili: *vasconicum* y Z18-C.Las Paúles: *zaldivarae*, es decir tres linajes innominados. KNEUBÜHLER et al. (2022) llevan a cabo el análisis filogenético (COI, 16S, H3, ITS2) de 57 poblaciones (56 basadas en col. ZUPV), donde el método de delimitación ABDG reconoce 22 taxones, incluyendo un clado astur-cántabro (green) que contendría siete, con *I. percostulatum* como única especie descrita. También etiquetan como *I. vasconicum* (indicando los subclados con colores: rosa, 15 poblaciones; azul, 14 y pardo, 7 poblaciones de Cantabria) que incluye tres de los linajes identificados por WEIGAND et al. (2013). En este trabajo se hace una estimación del número de especies y una interpretación biogeográfica.

Palabras clave: diversidad, endemismo, Iberozospeum, región Cantábrica, troglobio.

Imágenes a escala de la concha de las nueve especies conocidas del género *Iberozospeum* ordenadas geográficamente. A la derecha, concha de una especie inédita, probablemente extinta, de gran tamaño.

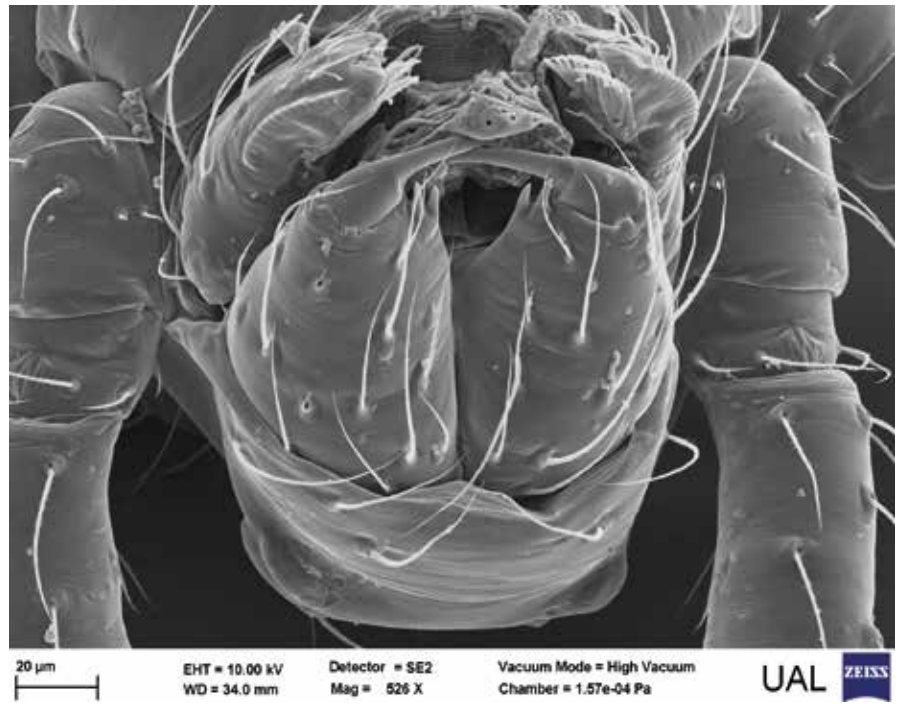
NUEVO REGISTRO DE *Anapistula* (GERTSCH 1941) (ARANEAE: ARANEOMORFAE) EN EUROPA CON LA DESCRIPCIÓN DE UNA ESPECIE NUEVA

Pertegal, C. [1,2], Barranco, P.[3]

1. Estación Experimental de Zonas Áridas, (EEZA-CSIC), Departamento de Ecología Funcional y Evolutiva, Ctra. de Sacramento s/n, La Cañada de San Urbano, 04120 Almería. cristianpertegal@hotmail.es
2. Universidad de Córdoba, Departamento de Zoología, Edificio C-1, Campus de Rabanales, 14071 Córdoba.
3. Universidad de Almería, Departamento de Biología y Geología, CITE-IIB, Centro de Colecciones, CECOUAL, Ctra. Sacramento, s/n, La Cañada, 04120 Almería. pbvega@ual.es

Se describe una nueva especie del género *Anapistula* (Gertsch 1941), lo que supone el segundo registro de la familia Symphytognathidae (Hickman 1931) en Europa. La nueva especie ha sido encontrada, por el momento, únicamente en la Cueva de Nerja, Málaga. A tenor de las capturas, está presente en toda la cavidad, desde las Galerías Turísticas hasta Galerías Nuevas. Su detección es difícil debido a su pequeño tamaño, y precisamente por ello ha pasado desapercibida hasta el momento. Se discuten las características de diagnóstico que han sido útiles para diferenciar la nueva especie de la ya conocida *A. ataecina* (Cardoso & Scharff, 2009), nativa del sistema de cuevas de Frade, Lisboa, Portugal.

Palabras clave: cueva, nueva especie, sur de Europa, Symphytognathidae.



Detalle de los quelíceros, maxilas y parte anterior del prosoma de *Anapistula* sp. nov.

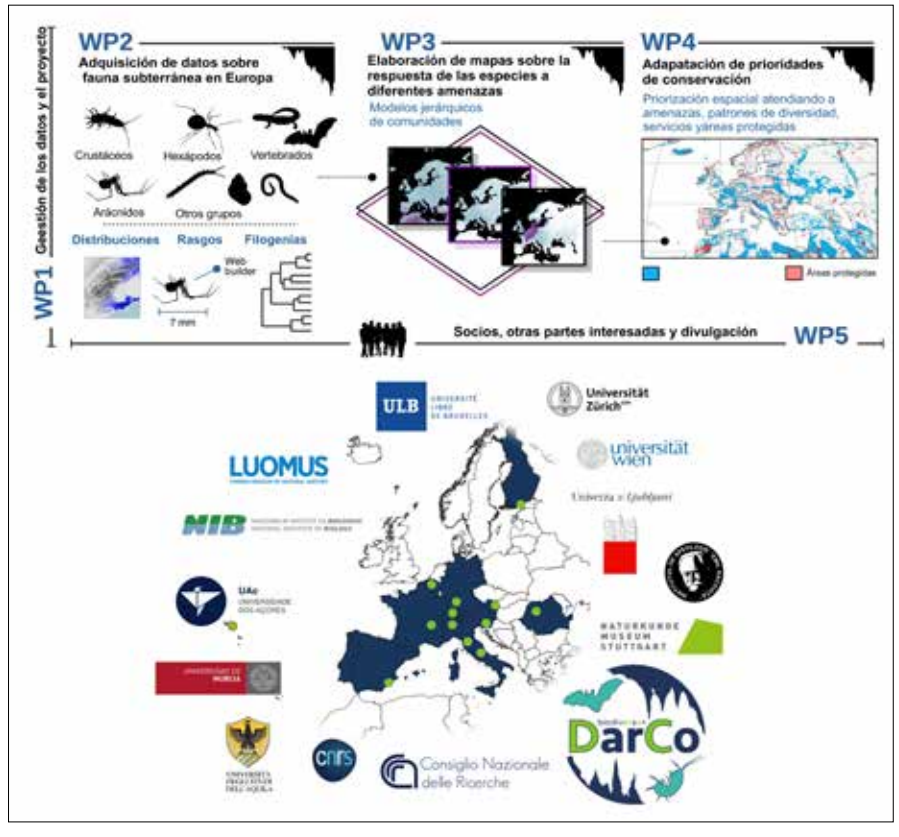
LA DIMENSIÓN VERTICAL DE LA CONSERVACIÓN: UN PLAN RENTABLE PARA INCORPORAR LOS ECOSISTEMAS SUBTERRÁNEOS EN LAS AGENDAS DE BIODIVERSIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO POST-2020 EN EUROPA (PROYECTO DarCo)

Sánchez-Fernández, D.[1], Mammola, S.[2], Pallarés, S.[1]

1. Universidad de Murcia, Departamento de Ecología e Hidrología, Campus de Espinado 30100, Espinardo, Murcia. davidsan@um.es; susana.pallares@um.es
2. National Research Council (CNR), Water Research Institute (IRSA), Corso Tonolli, 50, Pallanza, 28922, (Italia). stefano.mammola@cnr.it

Los ecosistemas subterráneos albergan una amplia diversidad de organismos especializados y endémicos que representan una fracción única de la diversidad taxonómica, filogenética y funcional a nivel global. Además, proporcionan servicios ecosistémicos cruciales, especialmente el suministro de agua potable a más de la mitad de la población mundial. Sin embargo, estos ecosistemas se pasan por alto sistemáticamente en los objetivos post 2020 de biodiversidad y cambio climático. Dos impedimentos principales son responsables de esta situación. En primer lugar, los patrones de biodiversidad subterránea siguen estando en gran parte sin cartografiar, incluso en áreas con una larga tradición espeleológica como Europa. En segundo lugar, carecemos de una comprensión mecánica de la respuesta de las especies subterráneas a las perturbaciones inducidas por el hombre. Se recopilarán datos de distribución, rasgos y filogenias para todos los principales grupos de animales subterráneos, lo que permitirá mapear patrones de biodiversidad subterránea en toda Europa, y desarrollar un plan explícito para incorporar ecosistemas subterráneos en la Unión Europea (UE) Estrategia de Biodiversidad para 2030. Del mismo, mediante la intersección de mapas de patrones de diversidad, amenazas y áreas protegidas, también contribuiremos a diseñar un plan para proteger la biodiversidad subterránea que complemente la actual red de áreas protegidas de la UE (Natura 2000). Finalmente, nuestro objetivo también es aumentar la concienciación social sobre los ecosistemas subterráneos, asegurando que las generaciones futuras puedan aprovechar el conocimiento acumulado sobre la biodiversidad subterránea y monitorear la efectividad de las medidas de protección actuales en los años venideros.

Palabras clave: cambio climático, conservación, cuevas, Europa.



Esquema del proyecto DarCo mostrando las actividades a desarrollar por los diferentes grupos de trabajo (WP) y las instituciones implicadas.

PROYECTO FRAGGLE: PREDICIENDO EL FUTURO DE LA BIODIVERSIDAD SUBTERRÁNEA DESDE UNA PERSPECTIVA EXPERIMENTAL

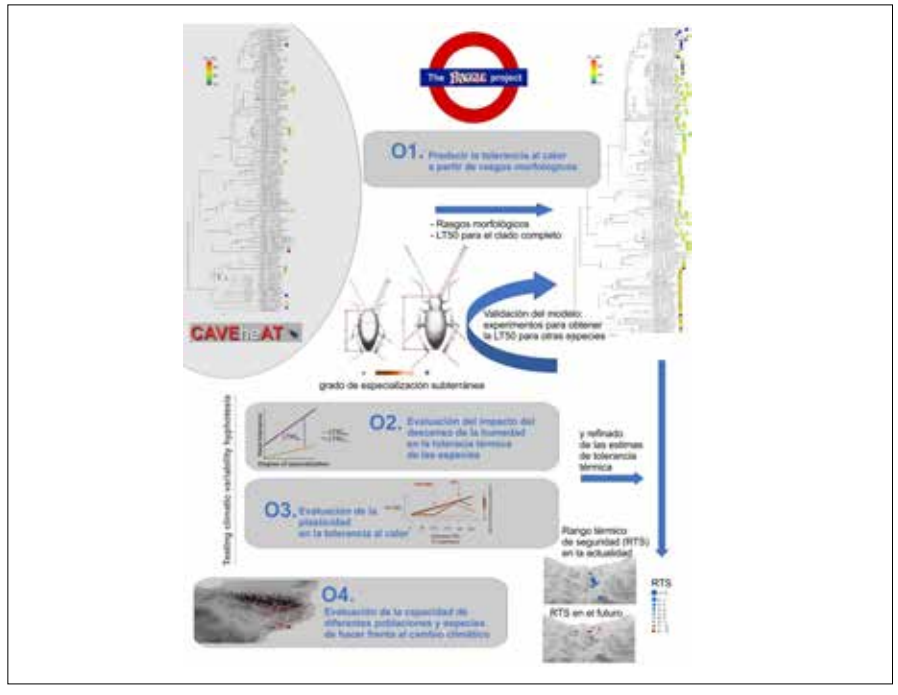
Sánchez-Fernández, D.[1], Colado, R.[1], Fresneda, J.[2,3], Mammola, S.[4], Plaza, J.[1], Velasco, J.[1], Pallarés, S.[1]

1. Universidad de Murcia, Departamento de Ecología e Hidrología, Campus de Espinado, 30100, Espinardo, Murcia. davidsan@um.es; raquel.colado@um.es; jorge.plaza@um.es; jvelasco@um.es; susana.pallares@um.es
2. Ca de Massa, 25526 Llesp - El Pont de Suert, Lleida. ffresned@gmail.com
3. Museu de Ciències Naturals de Barcelona (Zoologia), Passeig Picasso s/n, 08003 Barcelona.
4. Water Research Institute (IRSA), National Research Council (CNR), Corso Tonolli, 50, Pallanza, 28922, (Italia). stefano.mammola@cnr.it

Ante la emergencia climática actual, los científicos están renovando sus esfuerzos para predecir con precisión el impacto del cambio climático en la biodiversidad. Con este proyecto, aprovechamos el laboratorio natural único que ofrecen las cuevas en la investigación ecológica para establecer vínculos directos entre la fisiología de las especies y la vulnerabilidad al cambio climático. Una de las principales limitaciones de estos enfoques mecanicistas son las dificultades para obtener información fisiológica de las especies y, por lo tanto, gran parte del conocimiento en este campo se deriva de un conjunto reducido de especies. Como las presiones selectivas durante el proceso de especialización al medio subterráneo parecen haber generado síndromes convergentes que abarcan rasgos morfológicos y fisiológicos, estamos trabajando en la predicción de los valores de tolerancia al calor para el clado completo de coleópteros subterráneos (fam. Leiodidae) de los Pirineos (más de 100 especies) simplemente usando sus rasgos morfológicos como variables predictivas (mucho más fáciles de obtener que los datos fisiológicos). Las predicciones de la vulnerabilidad de las especies al cambio climático basadas en datos fisiológicos podrían también refinarse considerando otros factores que afectan la tolerancia térmica de las especies, como una disminución de la humedad relativa de la cueva, así como la plasticidad de la tolerancia (capacidad de aclimatación).

Combinando toda esta información, evaluaremos la capacidad de diferentes especies para hacer frente al cambio climático, proporcionando la predicción más precisa hasta la fecha sobre la respuesta de las especies al cambio climático para un clado completo de especies subterráneas.

Palabras clave: cambio climático, coleópteros, cuevas, fisiología de la conservación, nicho térmico.



Esquema del proyecto FRAGGLE mostrando los principales objetivos.

PALPÍGRADOS EN EL SISTEMA IBÉRICO

Sánchez-Camacho, F.J.[1], Barranco, P.[1]

1 Universidad de Almería, Departamento de Biología y Geología, CITE-IIB, CECOUAL, Ctra. Sacramento, s/n, 04120 La Cañada, Almería. scf360@ual.es; pbvega@ual.es

Los palpígrados son un orden que pertenece a la Clase Arachnida. Tienen muy pequeño tamaño (2 mm máximo) y una gran velocidad de movimiento, lo que hace que su observación en la naturaleza sea muy complicada. Viven debajo de piedras, de la hojarasca y en cuevas donde la humedad es alta, lugares a los que están bien adaptados. El orden está compuesto por 140 especies a nivel mundial. En España se han citado 11 especies, todas del género *Eukoenenia* Börner, 1901. Estos, se han separados en dos grupos atendiendo a la morfología del órgano lateral; por un lado, los que poseen un único lóbulo, y por otro, los que poseen múltiples lóbulos. Se ha estudiado material recolectado por captura directa en cuevas de Cuenca (1♂) y Guadalajara (1♂ y 1♀). Los ejemplares capturados pertenecen al segundo grupo con múltiples lóbulos en el órgano lateral. Tras un primer análisis, y a pesar de la cercanía entre ambas localidades, las diferentes características morfológicas encontradas sugieren que se trata de dos taxones diferentes. La disposición de la quetotaxia ventral los aproxima a *E. zariquieyi* (Condé, 1951), en el caso del ejemplar de Cuenca; y a *E. sendrai* Barranco y Mayoral, 2014, para los individuos de Guadalajara. Si bien, ambas presentan características propias. Estas capturas representan una extensión de la distribución del grupo en la península ibérica.

Palabras clave: España, palpigradi, Sistema Ibérico.

Habitus de macho de Palpígrado.

LA FAUNA CAVERNÍCOLA DE LAS SIERRAS INTERIORES DEL SISTEMA IBÉRICO: DESENTRAÑANDO SU RIQUEZA BIOLÓGICA

Royo, J.M.[1], Teruel, S.[2], Montagud, S.[3], Jiménez-Valverde, A.[4], Cardona, H.[5], Soldado, P.[5], Almela, L.[6,7], Almela, J.[6,7], Fadrique, F.[8], Gilgado, J.D.[9], Membrado, J.L.[10], Miralles-Núñez, A.[11], Caballero, B.[12], Selfa, J.[13], García-Aibar, S.[14], Gil-Coscollá, A.[14], Gaspar-Santiago, J.[15], Beltrán, L.[16], Sendra A.[2,6,8,9]

1.Universidad de Alicante. Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales. ichneumonidwasp@gmail.com
2. Unión de Espeleólogos, València. Alberto.Sendra@uv.es
3. Museu d'Història Natural. Universitat de València
4. Department of Biogeography and Global Change, Museo Nacional de Ciencias Naturales (MNCN-CSIC), Madrid
5. Espeleoclub La Vall d'Uixó, Castelló
6. Sociedad Española de Espeleología y Ciencias del Karst
7. Espeleo Club de Castelló, Castelló
8. BIOSP. Associació Catalana de Bioespeleologia.
9. Universidad de Alcalá, Departamento de Ciencias de la Vida, Grupo de Investigación de Biología del Suelo y de los Ecosistemas Subterráneos.
10. Grupo Espeleológico Niphargus, Burgos.
11. Servei de Fauna i Flora, Departament de Territori, Habitatge i Transició Ecològica, Generalitat de Catalunya, c/ Foc 57, 08038, Barcelona, España..
12. Museu de Ciències Naturals de Barcelona.
13. Universitat de València, Departament de Zoologia, Laboratori d'Investigació d'Entomologia,
14. Club d'Espeleologia d'Onda (GEON), Castelló.
15. Club Espeleo JASPE, Segovia.
16. Hospital La Fe, València.

Pese a que la fauna ibérica presenta la nada desdeñable cifra de 1300 especies y subespecies de invertebrados cavernícolas descritas, su distribución es heterogénea, con un particular vacío de conocimiento de esta fauna en las sierras interiores del Sistema Ibérico. Esas sierras del interior forman parte de las ramas aragonesa y castellana de este sistema montañoso elevado durante la orogenia Alpina. Por un lado, los relieves aragoneses poseen pocas cavidades y de escasa profundidad, pero algunas de cierto desarrollo, aunque esconden interesantes taxones como *Paraphaenops fadriquei*; de otro, la rama castellana alberga cavidades con mayores dimensiones, como el caso de la Cueva del Tornero en Checa (Guadalajara) con un extenso río subterráneo. Los primeros descubrimientos en estas cavidades del interior peninsular tuvieron lugar en el curso de las visitas realizadas por colaboradores del proyecto Bioespeleologica a comienzos del siglo XX, en particular por el prehistoriador francés Henri Breuil, que condujo a la descripción de los milpiés cavernícolas *Psichrosoma breuili* y *Cottodesmus breuili*. Solo recientemente estas sierras interiores han mostrado su potencial cavernícola con el descubrimiento de especies reliquias como el opilión *Turonychus fadriquei*, y quizá muchas más esperando ser descritas y estudiadas. Si consideramos todo el Sistema Ibérico, las especies invertebradas terrestres suman 214, que incluyen 87 formas exclusivas, troglobias, y 127 troglófilas. No obstante, si centramos nuestro interés en las sierras interiores, encontramos 22 formas troglobias y 19 troglófilas, casi en su totalidad localizadas en el Maestrazgo (Castellón y Teruel). Se propone, en el lapso de seis años, el estudio de la fauna cavernícola de las regiones kársticas de las sierras interiores del sistema ibérico, con el fin de desentrañar el funcionamiento de estos ecosistemas subterráneos y sus redes tróficas.

Palabras clave: biodiversidad, bioespeleología, ecosistemas subterráneos, troglobio, troglófilo, Sistema Ibérico.

Corología de la fauna cavernícola terrestre del Sistema Ibérico.

Fotografía: Mariano Ibáñez Heredia.

COMITÉ ORGANIZADOR

Luis-Efrén Fernández Rodríguez
Instituto de Investigación Cueva de Nerja

Yolanda del Rosal Padial
Instituto de Investigación Cueva de Nerja

Cristina Liñán Baena
Instituto de Investigación Cueva de Nerja/Universidad de Málaga

Pablo Barranco Vega
Universidad de Almería

José Alberto Tinaut Ranera
Universidad de Granada

Alberto Sendra Mocholí
Ayuntamiento de Valencia

Toni Pérez Fernández
Grupo de Espeleología de Villacarrillo (Jaén)

Juan Bautista Salado Escaño
Museo de Nerja

Antonio Montesino Baca
Museo de Nerja

COMITÉ CIENTÍFICO

Ana Isabel Camacho Pérez
Museo Nacional de Ciencias Naturales

Ana Sofía Reboleira
Universidad de Lisboa

Berta Caballero López.
Museu de Ciències Naturals de Barcelona

.

Carlos E. Prieto Sierra.
Universidad del País Vasco

Carlos Ibáñez Ulargui
Estación Biológica de Doñana

Damiá Jaume Llabrés
Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados

Elena Tena López
Tragsatec/SECEMU

Enrique Baquero Martín
Universidad de Navarra

Ernesto Recuero Gil
Clemson University (USA)

Félix D. López Figueroa
Universidad de Málaga

Javier Fresneda Gaspar
Museu de Ciències Naturals de Barcelona

Joaquín Abolafia Cobaleda
Universidad de Jaén

J. Antonio Barrientos Alfageme
Universitat Autònoma de Barcelona

José M. Salgado Costas
Universidad de Vigo

Lluc Garcia
Museu Balear de Ciències Naturals

M. Lourdes Moraza Zorrilla
Universidad de Navarra

Miguel Gaju Ricart
Universidad de Córdoba

Nathalie Korbee Peinado
Universidad de Málaga

Pedro Oromí Masoliver
Universidad de La Laguna

Pilar Rodríguez Rodríguez
Universidad del País Vasco

Rafael Molero Baltanás
Universidad de Córdoba

Sergio García-Dils de la Vega
Universidad Nacional de Educación a Distancia

Valme Jurado Lobo
Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla

Vicente M. Ortuño Hernández
Universidad de Alcalá

Xavier Bellés i Ros
Instituto de Biología Evolutiva