

Caracterización biométrica de larvas de *Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807) en Sierra Nevada (sureste de la Península Ibérica)

Ángel Romero Martín¹ , Francisco J. Márquez² , Antonio Jesús López Montoya⁴  y Juan Diego Gilbert Rus^{2,3*} 

¹ Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada. Consejería de Sostenibilidad, Medio Ambiente y Economía Azul - Junta de Andalucía. 18191 Pinos Genil, Granada, (España).

² Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, 23071 - Jaén, Jaén (España).

³ Centro de Estudios Avanzados en Ciencias de la Tierra, Energía y Medio Ambiente (CEACTEMA), Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, 23071 - Jaén, Jaén (España).

⁴ Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, 23071 - Jaén, Jaén (España).

* Corresponding author: dgilbert@ujaen.es

Recibido: 26/12/23

Aceptado: 11/07/24

RESUMEN

Caracterización biométrica de larvas de *Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807) en Sierra Nevada (sureste de la Península Ibérica).

Cordulegaster boltonii es una libélula de amplia distribución en Europa y el norte de África, con poblaciones registradas en más de 25 países. Sin embargo, los estudios biométricos realizados en larvas de esta especie son muy escasos. Basándonos en las investigaciones previas y en la finalidad de este estudio, se han seleccionado cuatro parámetros morfológicos muy representativos y utilizados para caracterizar larvas de esta especie: longitud total del cuerpo (LT), longitud abdominal (LA), ancho de la cabeza (AC) y longitud de la pteroteca metatorácica derecha (LP). Se presenta el primer estudio biométrico realizado con larvas de *C. boltonii* provenientes de cinco ríos de Sierra Nevada, en el sureste de la Península Ibérica. Al comparar los valores de estas variables entre larvas de diferentes sexos y estadios larvarios, no se detectaron diferencias significativas entre las poblaciones estudiadas. Los resultados revelan valores muy homogéneos y singulares para la especie en Sierra Nevada, estableciendo un patrón biométrico para los cuatro últimos estadios larvarios (F-3 a F-0), teniendo en cuenta además el sexo de los ejemplares.

PALABRAS CLAVES: *Cordulegaster boltonii*, Sierra Nevada, biometría, larvas.

ABSTRACT

Biometric characterization of Cordulegaster boltonii (Donovan, 1807) larvae in Sierra Nevada (Southeast of Iberian Peninsula).

Cordulegaster boltonii is a dragonfly widely distributed in Europe and North Africa, with populations recorded in more than 25 countries. However, biometrics studies carried out on larvae of this species are very scarce. Based on previous research and the purpose of this study, four highly representative morphological parameters have been selected and used to characterize larvae of this species: total length (TL), abdominal length (AL), head width (AC) and length of the right metathoracic pteroteca (LP). This research is the first biometric study carried out with *C. boltonii* larvae from five water courses in the Sierra Nevada, southeast Iberian Peninsula. When comparing the values of these variables between larvae of different sexes and larval stages, no significant differences were detected between the studied po-

pulations. The results reveal very homogeneous and unique values for the species in Sierra Nevada, establishing a biometric pattern for the last four larval stages (F-3 to F-0), also taking into account the sex of the specimens.

KEY WORDS: *Cordulegaster boltonii*, Sierra Nevada, biometry, larvae.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático está provocando un incremento en la temperatura del agua y una disminución del caudal de los ríos y arroyos en Sierra Nevada (Pérez-Luque *et al.*, 2016). Esta situación ha originado cambios en la distribución, abundancia y composición de las comunidades reófilas de montaña (López-Rodríguez *et al.*, 2022). En este contexto de regresión continua de los cursos de agua y amenaza de pérdida de conectividad entre poblaciones, destacamos el valor de los odonatos, como especies idóneas para evidenciar dichas alteraciones en un área geográfica determinada (Chovanec *et al.*, 2015; Martín & Maynou, 2016).

Entre las especies de odonatos, *Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807) surge como un bioindicador adecuado para evaluar a escala local los efectos del cambio climático (Hassall, 2015; Cerrini *et al.*, 2020). Esta característica se debe a su amplia distribución, extendiéndose por el Paleártico occidental ocupando gran parte de Europa y el norte de África (Boudot, 2001; Boudot &

Holuša, 2015), a la función trófica que desarrolla como predador en los arroyos donde habita (Woodward & Hildrew, 2001; Bo *et al.*, 2011) y a los requerimientos ecológicos de los hábitats donde se reproduce (Martín & Maynou, 2016). Por ello, se reconoce como una de las especies más idóneas para evaluar el estado de conservación de las comunidades de odonatos de montaña en su área de distribución (Torralba Burrial, 2009; Martín & Maynou, 2016). Las larvas prosperan en corrientes de agua bien oxigenadas, arroyos de montaña y tramos superiores de los ríos (Casanueva *et al.*, 2020a) siendo estos, los hábitats acuáticos más habituales para esta especie. El ciclo de vida sigue el modelo descrito para especies de primavera (Corbet, 1964), con diapausa invernal en el último estadio de desarrollo y emergencia sincrónica en la siguiente primavera. El desarrollo larvario comprende 14 estadios (Pfuhl, 1994; Corbet, 2002) y tiende a ser partivoltino (Casanueva *et al.*, 2020a). Este proceso varía según el área geográfica considerada siendo más prolongado en zonas de alta montaña y países del norte

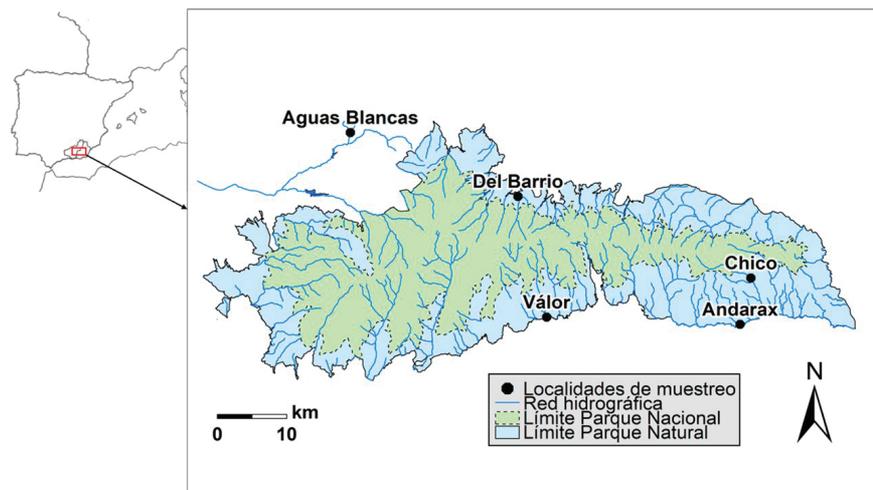


Figura 1. Procedencia de las larvas. Cuatro localidades se sitúan dentro del Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada, la quinta localidad en la Z.E.C. (Zona de Especial Conservación) “Barranco del Río Aguas Blancas” (ES6140015). *Origin of the larvae. Four localities are located within the Sierra Nevada National Park and Natural Park, the fifth locality in the Z.E.C. (Special Conservation Area) “Barranco del Río Aguas Blancas” (ES6140015).*

de Europa (Ferrerías-Romero & Corbet, 1999).

El taxón presente en el sureste ibérico (Luzón-Ortega & Tierno de Figueroa, 2000; Conesa-García, 2016) es *C. boltonii boltonii*, según Froufe et al. (2014). En Sierra Nevada se encuentra en diversos hábitats, como cursos de agua, acequias tradicionales, surgencias, fuentes y riachuelos fontanales de turberas de altitud (Cano-Villegas et al., 2013; Romero Martín, 2019).

Las técnicas biométricas han sido una herramienta empleada en el estudio de larvas de *C. boltonii* con diversos propósitos como la elaboración de claves para la identificación de larvas de *Cordulegaster* Leach, 1815, (Verschuren, 1989; Conesa-García, 2021), estudios sobre la ontogenia de la especie (Folson, 1979; Schütte, 1997) e investigaciones relacionadas con la ecología de los estadios larvarios (Pfuhl, 1994) y el ciclo de vida (Ferrerías-Romero & Corbet, 1999). En años recientes, varios trabajos han abordado la variabilidad de las exuvias F-0 de *C. boltonii* en diferentes contextos, tanto a lo largo del tiempo (Casanueva et al., 2017) durante el periodo de emergencia, como entre diferentes áreas geográficas de la Península Ibérica y el norte de Marruecos (El Haisoufi et al., 2018; Casanueva et al., 2020b).

El objetivo de este estudio es proporcionar datos relevantes sobre la diversidad fenotípica y las diferencias observadas entre las poblaciones analizadas de *C. boltonii boltonii* en ríos de alta montaña en Sierra Nevada, con el fin de establecer un patrón biométrico de los últimos estadios de desarrollo (F-3 a F-0). De otro lado, proporcionar datos biométricos de esta especie para el sureste ibérico, de donde no existe información al respecto. Para ello, se han elegido parámetros comúnmente utilizados en larvas de anisópteros

tales como la anchura cefálica (AC), la longitud de la pteroteca metatorácica derecha (LP), la longitud total del cuerpo (LT) y la longitud abdominal (LA).

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Sierra Nevada se encuentra en el sureste ibérico entre las provincias de Almería y Granada (37° 5'N, -3° 9'W). Con una superficie de 200 000 ha y una longitud aproximada de 90 km, presenta un marcado gradiente de temperatura y precipitación este-oeste y entre las vertientes norte-sur. Sierra Nevada abarca un rango altitudinal que va desde los 280 m.s.n.m. de cota mínima hasta los 3479 m del pico Mulhacén. En el macizo están representados cinco de los seis pisos bioclimáticos de la Región Mediterránea, lo que origina una notable diversidad climática y ecosistémica.

Toma de muestras

Entre los años 2012 y 2014 se recolectaron larvas en tres ríos de la provincia de Granada (río Aguas Blancas en Quéntar, río Válor en Válor y río del Barrio en Lanteira) y dos ríos de la provincia de Almería, (río Andarax en Padules y río Chico en Ohanes) (Fig. 1). Todos ellos se encuentran en el piso bioclimático Mesomediterráneo localizados entre los 605 m y 1350 m de altitud (Tabla 1). El bosque de ribera de los tramos visitados está constituido por saucedas de diversas especies, condicionado en gran medida por la litología local. Los ríos Válor, Ohanes y del Barrio presentan restos de saucedas en suelos ácidos donde predo-

Tabla 1. Localización y características geográficas de los puntos de muestreo. T^a aire: Temperatura media anual del aire; Ppm: Precipitación media anual. Los datos climáticos corresponden a un periodo de 30 años (<https://en.Climate-data.org>). Localization and geographical characteristics of the sampling points. Air T^a: Average annual air temperature; Ppm: Annual average precipitation. The climate data corresponds to a 30 year-period (<https://en.Climate-data.org>).

	Aguas Blancas	Andarax	Barrio	Chico	Válor
Municipio	Quéntar	Padules	Lanteira	Ohanes	Válor
Precipitación (mm)	536	370	603	370	449
Horas de sol/año	3399	3565	3370	3565	3527
T ^a del aire (°C)	13.4	13.0	12.9	14.5	13.4
Altitud (m)	1150	605	1350	1038	890
Coordenadas	37.228614/-3.408892	36.986667/-2.774583	37.153447/-3.134098	37.047107/-2.756686	36.996290/-3.087080

mina *Salix atrocinerea*, acompañada por *Populus alba*, *Fraxinus angustifolia* y *Alnus glutinosa* (Pérez Raya *et al.*, 1992). La localidad del río Aguas Blancas presenta bosques riparios de *Salix alba* y *Populus alba* en sustratos carbonatados, catalogados como Hábitats de Interés Comunitario (HIC 92A0 – Directiva Hábitats 92/43/CEE – DO, 1992). El tramo del río Andarax se ubica en un cañón fluvial de gran belleza y singularidad geológica (Monumento Natural de Las Canales), con algunos ejemplares de *Salix sp* y formaciones de *Arundo donax*.

La recolección de los ejemplares se realizó con una manga acuática tipo Kicks, de sección pentagonal de 25 cm de lado, mango de 1.5 m y red de 50 cm de profundidad, hecha de tejido Nytex, con una luz de malla de 1 mm. En todos los casos se tomó un reducido número de ejemplares para no afectar a la población larvaria del río.

Biometría

Para el estudio biométrico se seleccionaron cuatro variables: longitud total del cuerpo (Paulson & Jenner, 1971; Brettfeld, 1989), longitud abdominal (Schütte, 1997), anchura cefálica (Martín & Maynou, 2023) y longitud de la pteroteca metatorácica derecha (Pfuhl, 1994; Ferreras-Romero & Corbet, 1999). Las distintas mediciones se realizaron siempre en milímetros, por una única persona, utilizando una lupa con micrómetro ocu-

lar (Motic SMZ-168-TLED; micrómetro ocular de 0.1 mm).

La asignación de los estadios larvarios se realizó a partir de la segregación de los valores correspondientes a la anchura cefálica (AC), la longitud de la pteroteca (LP) y la relación LP/AC (Tennessen, 2017). La longitud de la pteroteca permite discriminar con seguridad el estadio F-0 cuando la pteroteca alcanza el cuarto segmento abdominal (Ferreras-Romero & Corbet, 1999). La determinación del sexo de los ejemplares (F-2, F-1 y F-0) se realizó en base a la presencia o ausencia de gonapófisis, en hembras y machos respectivamente. La designación de los estadios larvarios sigue la práctica de denominar al último estadio larvario como F-0, al penúltimo como F-1, al anterior como F-2, y así sucesivamente (Ferreras-Romero & Corbet, 1999). No fue posible determinar el sexo de la mayoría de ejemplares de F-3.

Análisis estadístico

Para conocer la influencia de cada río en el fenotipo de su población larvaria se realiza un análisis de la varianza multivariante entre los 5 ríos y sus larvas de procedencia. Para ello, se consideran los cuatro parámetros estudiados (variables independientes) en las poblaciones clasificadas por estadios (F-0, F-1, F-2 y F-3) para los cinco ríos (factor). Se considera el sexo como una variable

Tabla 2. Promedio, desviación estandar y rango de valores (mm) de las variables para los distintos estadios larvarios. LT: longitud total; LA: longitud abdominal; AC: anchura cefálica; LP: longitud de la pteroteca. *Average, standard deviation and range of values (mm) of the variables for the different larval stadia. LT: total length; LA: abdominal length; AC: cephalic width; LP: pteroteca length.*

Sexo/Estadio	N	LT	LA	AC	LP
Machos F-0	91	37.03 ± 2.32 (32.8 - 44.0)	24.40 ± 2.0 (20.0 - 29.0)	7.64 ± 0.32 (6.5 - 8.8)	8.08 ± 0.42 (6.5 - 9.2)
Hembras F-0	75	39.96 ± 2.47 (32.8 - 44.8)	26.22 ± 2.11 (20.0 - 30.4)	8.15 ± 0.23 (7.7 - 9.0)	8.70 ± 0.43 (7.2 - 9.5)
Machos F-1	54	29.76 ± 2.24 (26.0 - 35.2)	19.95 ± 1.95 (16.0 - 26.6)	6.06 ± 0.32 (5.3 - 7.4)	3.98 ± 0.31 (3.2 - 5.1)
Hembras F-1	63	32.55 ± 2.79 (26.4 - 38.0)	21.84 ± 1.85 (16.8 - 24.8)	6.46 ± 0.28 (5.5 - 7.3)	4.29 ± 0.27 (3.6 - 5.1)
Machos F-2	85	23.94 ± 1.88 (17.6 - 28.8)	15.82 ± 1.49 (11.2 - 19.2)	4.70 ± 0.26 (4.0 - 5.9)	2.23 ± 0.22 (1.6 - 2.9)
Hembras F-2	80	24.83 ± 2.41 (18.0 - 29.6)	16.55 ± 1.85 (12 - 20.0)	4.99 ± 0.32 (4.2 - 5.9)	2.27 ± 0.32 (1.4 - 3.1)
F-3	178	17.64 ± 2.53 (9.6 - 24)	11.62 ± 1.81 (7.2 - 16.8)	3.60 ± 0.35 (2.9 - 4.4)	1.14 ± 0.32 (0.5 - 2.3)

diferenciadora de clasificación para larvas macho y hembras de F-0, F-1 y F-2. Así, en conjunto habría siete categorías diferenciadas (MF-0, MF-1, MF-2, HF-0, HF-1, HF-2 y F-3), realizando por tanto, siete análisis de la varianza multivariantes no paramétricos (NP-MANOVA) para cada uno de los siete grupos diferenciados. Además, se han realizado las correspondientes comparaciones múltiples con la prueba de Dunn después de aplicar los test de Kruskal-Wallis correspondientes. Para minimizar la tasa de descubrimiento falso, se ha aplicado la corrección de Benjamini-Hochberg (p-BH) a los *p*-valores obtenidos con el test de Dunn, logrando así un incremento de la astringencia requerida a través de los *p*-valores ajustados.

Los análisis estadísticos se han realizado con el software libre R (R Development Core Team, 2022). La normalidad de la distribución de cada parámetro se ha comprobado utilizando la prueba de normalidad multivariante de Henze-Zirkler mediante la función “mvn” del paquete MVM de R (Korkmaz et al., 2014). Dicha función también evalúa la normalidad univariante para lo cual se ha utilizado la prueba de Shapiro-Wilk, que es una de las pruebas más robustas (Gandica de Roa, 2020) cuando el tamaño muestral es pequeño. Para la implementación del NP-MANOVA se ha utilizado la función “nonpartest” del paquete nrmv de R (Burchett et al., 2017) incluyendo el argumento permreps establecido en 1000. Para implementar los test de Kruskal-Wallis y sus comparaciones múltiples mediante el test de Dunn se han utilizado las funciones “kruskal_test” y “dunn_test” ambas del paquete rstatix de R (Kassambara, 2023).

RESULTADOS

El estudio biométrico se llevó a cabo en un total de 626 larvas siguiendo el criterio expresado por Benke (1970). Dentro de la muestra, el 26.51 % fueron larvas en estadio F-0 (166 ejemplares), el 18.69 % larvas F-1 (117), el 26.35 % larvas F-2 (165) y el 28.43 % restante correspondieron a larvas en estadio F-3 (178). La Tabla 2 muestra los estadísticos descriptivos de posición central (media) y dispersión (desviación estándar) de las variables para cada sexo y estadio.

Las figuras 2 y 3 muestran los valores de los

parámetros analizados para los distintos estadios larvarios en cada una de las poblaciones (Aguas Blancas: 1; Andarax: 2; Chico: 3; Barrio: 4; Válor: 5), diferenciadas por sexos en F-0, F-1 y F-2. En los estadios F-0 y F-1, el valor medio de las variables longitud total del cuerpo, longitud abdominal y longitud de la pteroteca es mayor en larvas hembra en las cinco localidades. En los estadios F-0, F-1 y F-2, el valor medio para la anchura cefálica es mayor en larvas hembra en las cinco localidades.

En el estadio F0, los ejemplares de ambos sexos del río del Barrio poseen el valor medio más alto para la longitud total del cuerpo; la situación opuesta se encuentra en los pequeños ejemplares del río Válor. Las larvas del río Andarax presentan el valor medio más elevado para la anchura cefálica en ambos sexos; de igual forma ocurre para la funda del ala entre los ejemplares del río Chico; las larvas del río Aguas Blancas no destacan en ninguna de las variables, presentando valores muy homogéneos y centrados en torno al valor medio de cada variable. La longitud de la pteroteca es el parámetro que muestra menores diferencias entre machos y hembras en los estadios F-2 y F-1.

En general y para todos los estadios, las larvas hembra presentan rangos de valores más estrechos, con valores medios más homogéneos. En larvas macho se observa mayor amplitud en el rango de valores, medias más heterogéneas y distribuciones de valores más asimétricas.

Entre larvas de distinto sexo de la misma localidad, la longitud total del cuerpo (LT) se ajustó a normalidad y homogeneidad de varianzas en todos los supuestos para los estadios F-0 y F-1. La longitud abdominal (LA) también cumplió con los criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas en todos los supuestos. Sin embargo, la anchura cefálica no se ajustó a normalidad y homogeneidad de varianzas en tres de las cinco localidades para el estadio F-0, observándose diferencias altamente significativas en todos los casos (Tabla 3). Existe una graduación en la disimilitud de las variables entre machos y hembras durante el desarrollo larvario; esta diferencia se traduce a nivel estadístico como máxima (100%) en F-0, menor en F-1 y mínima en la F-2.

El análisis NP-MANOVA devuelve resulta-

Tabla 3. Resultados de los test de comparaciones de medias (medianas) para las variables entre larvas de distinto sexo, para cada río. El superíndice F indica si el valor del estadístico procede de ANOVA, el superíndice H indica si el valor del estadístico procede del test de Kruskal Wallis; entre paréntesis se encuentran los p-valores de cada prueba. LT: longitud total; LA: longitud abdominal; AC: anchura cefálica; LP: longitud de la pteroteca. *Results of the means (medians) comparison tests for the variables between larvae of different sex, for each river. The superscript F indicates that the value of the statistic comes from ANOVA, the superscript H indicates that the value of the statistic comes from the Kruskal Wallis test; In parentheses are the p-values of each test. TL: total length; LA: abdominal length; AC: head width; LP: pterotheca length.*

Estadio		A. Blancas	Andarax	Barrio	Chico	Válor
F0	LT	F ^{14.76} (<0.001)	F ^{18.49} (<0.001)	F ^{5.99} (0.021)	F ^{8.95} (0.005)	F ^{18.25} (<0.001)
	LA	F ^{5.30} (0.029)	F ^{10.14} (0.003)	F ^{2.39} (0.133)	F ^{5.10} (0.029)	F ^{12.95} (0.001)
	AC	H ^{15.88} (<0.001)	H ^{16.13} (<0.001)	F ^{16.44} (<0.001)	H ^{21.01} (<0.001)	F ^{31.59} (<0.001)
	LP	F ^{36.5} (<0.001)	H ^{12.96} (<0.001)	F ^{18.1} (<0.001)	F ^{40.52} (<0.001)	F ^{12.57} (0.001)
F1	LT	F ^{30.91} (<0.001)	F ^{9.17} (0.006)	F ^{4.98} (0.049)	F ^{4.99} (0.034)	F ^{0.86} (0.364)
	LA	F ^{22.93} (<0.001)	F ^{9.18} (0.006)	F ^{2.18} (0.171)	F ^{4.14} (0.052)	F ^{0.15} (0.702)
	AC	F ^{10.31} (0.002)	F ^{15.04} (<0.001)	H ^{7.39} (0.004)	F ^{8.85} (0.006)	F ^{10.45} (0.004)
	LP	F ^{21.39} (<0.001)	F ^{3.78} (0.066)	F ^{2.77} (0.127)	F ^{5.52} (0.026)	F ^{4.56} (0.046)
F2	LT	F ^{0.16} (0.689)	F ^{1.19} (0.29)	H ^{8.65} (0.003)	F ^{10.86} (0.002)	F ^{0.26} (0.616)
	LA	F ^{0.19} (0.658)	F ^{0.32} (0.581)	F ^{3.78} (0.061)	F ^{13.05} (<0.001)	F ^{0.04} (0.845)
	AC	F ^{10.78} (0.002)	F ^{5.03} (0.040)	H ^{14.46} (<0.001)	F ^{20.65} (<0.001)	F ^{0.91} (0.348)
	LP	H ^{0.01} (0.921)	F ^{0.69} (0.419)	H ^{4.01} (0.041)	F ^{1.75} (0.192)	H ^{0.01} (0.912)

Tabla 4. Resultados de las diferencias en las combinaciones entre pares de ríos, según el test de Dunn. Solo se presentan los casos con diferencias significativas ($p\text{-BH} < 0.05$). *Result of the differences in the combinations between pairs of rivers, according to Dunn's test. Only cases with significant differences are presented ($p\text{-BH} < 0.05$).*

Machos		Andarax	Barrio	Chico	Válor
MF0 L. pteroteca	Aguas Blancas				
	Andarax				0.0271
	Barrio				
	Chico				0.0036
MF2 A. cefálica	Aguas Blancas		0.0396		
	Andarax			0.0279	
	Barrio			0.0002	0.0333
	Chico				
Hembras					
HF0 A. cefálica	Aguas Blancas	0.0436			
	Andarax		0.0436		
	Barrio				
	Chico				
HF0 L. pteroteca	Aguas Blancas			0.0468	
	Andarax				
	Barrio				
	Chico				
HF2 A. cefálica	Aguas Blancas			0.0355	
	Andarax				
	Barrio			0.0355	
	Chico				0.0458
HF2 L. abdominal	Aguas Blancas			0.0223	
	Andarax				
	Barrio				
	Chico				0.0223

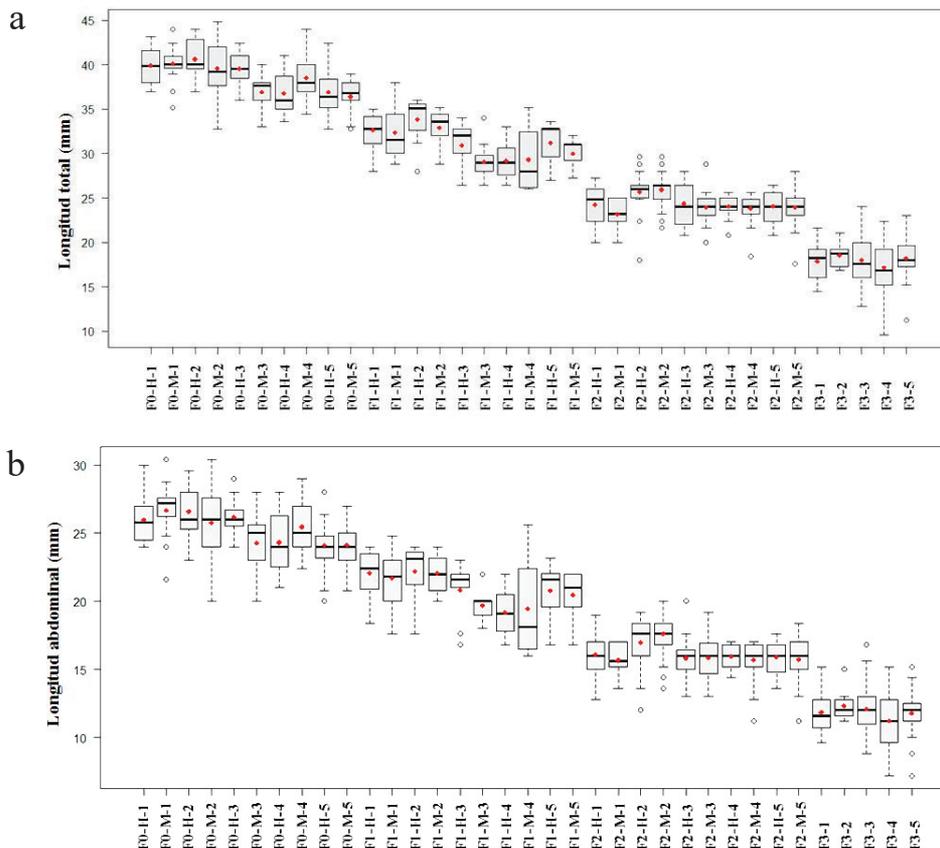


Figura 2. Valores de a) longitud total del cuerpo (mm) y b) longitud abdominal (mm) para los estadios larvarios analizados en cada río. Se observa la mediana (línea horizontal en negrita), la media (rombo rojo), primer cuartil Q1 (extremo inferior de la caja), tercer cuartil Q3 (extremo superior de la caja), el rango intercuartílico (Q3-Q1), los outliers (círculos) y la variabilidad admisible (líneas verticales intermitentes). *Values of a) total body length (mm) and b) abdominal length (mm) for the larval stadia analyzed in each river. The median (horizontal line in bold), the mean (red diamond), first quartile Q1 (lower end of the box), third quartile Q3 (upper ends of the box), the interquartile range (Q3-Q1), the outliers (circles) and allowed variability (intermittent vertical lines).*

dos significativos (p -valores < 0.05) al comparar las variables examinadas entre las siete categorías de población en diferentes ríos de manera global. Las comparaciones múltiples realizadas con el test de Dunn permiten identificar aquellos casos donde se registra una diferencia altamente significativa (p -BH < 0.5). Estos resultados aparecen recogidos en la Tabla 4. En larvas hembra del estadio F-0, se observan diferencias altamente significativas para la anchura cefálica entre ejemplares del río Andarax y ejemplares de los ríos del Barrio y Aguas Blancas. Para la variable longitud de la pteroteca se observan diferencias altamente significativas en ambos sexos; en larvas macho, entre ejemplares del río Válor y ejemplares de los ríos Andarax y Chico (Tabla 4), mientras que en

larvas hembra, entre ejemplares de los ríos Aguas Blancas y Chico. En larvas del estadio F-2, se establecen diferencias altamente significativas para la anchura cefálica entre larvas macho del río del Barrio y el resto. Para larvas hembra, se presentan algunas diferencias entre poblaciones en cuanto a la longitud abdominal y el ancho cefálico.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una notable homogeneidad en su conjunto y uniformidad de valores entre las poblaciones analizadas, con distribuciones muy similares en torno a la media y varianza. No se han observado diferencias significativas entre los estadios larvarios de las cinco

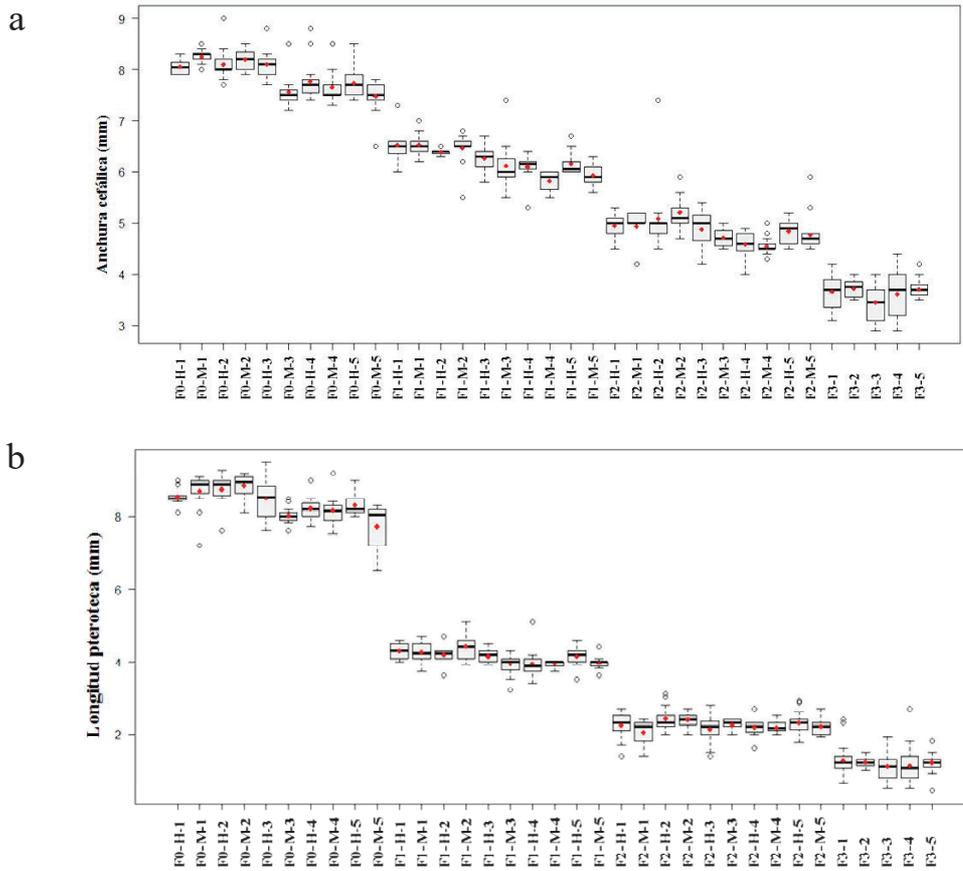


Figura 3. Valores de a) anchura cefálica (mm) y b) longitud de la pteroteca (mm) para los estadios larvarios analizados en cada río. Se observa la mediana (línea horizontal en negrita), la media (rombo rojo), primer cuartil Q1 (extremo inferior de la caja), tercer cuartil Q3 (extremo superior de la caja), el rango intercuartílico (Q3-Q1), los outliers (círculos) y la variabilidad admisible (líneas verticales intermitentes). *Values of a) head width (mm) and b) wing sheath length (mm) for the larval stadia analyzed in each river. The median (horizontal line in bold), the mean (red diamond), first quartile Q1 (lower end of the box), third quartile Q3 (upper ends of the box), the interquartile range (Q3-Q1), the outliers (circles) and allowed variability (intermittent vertical lines).*

poblaciones analizadas. La variabilidad genética de las cinco poblaciones analizadas y las características biológicas, físico-químicas y ambientales (luz solar directa, litología) de los cinco ríos estudiados podrían ser la causa de las pequeñas diferencias morfológicas en el fenotipo de los individuos. De esta forma, el mayor tamaño de las larvas F-0 del río del Barrio podría deberse a las singulares características del río, que orientado hacia el norte, cruza una densa repoblación forestal de *Pinus* sp (Ormerod et al., 1990) en la zona más fría de Sierra Nevada (Zeuss et al., 2017; Molina Rodríguez et al., 2022). Estas circunstancias podrían favorecer un desarrollo larvario más prolongado en determinadas zonas del macizo

(Norling, 1984; Suhling et al., 2015). Las singulares características geográficas de Sierra Nevada condicionan el desarrollo larvario en las distintas poblaciones presentes en el macizo, dependiendo de la zona geográfica (Fig. 1) y altitud a la que se ubican (Tabla 1). El régimen pluvio-nival de los ríos nevadenses, con caudales máximos en mayo, junto a las pronunciadas pendientes de los cauces, favorece un rápido descenso del agua con un mínimo aumento de temperatura, lo que propicia la hibernación de las larvas (Corbet, 2002) durante el invierno y parte de la primavera, a causa de la baja temperatura del agua (Toro et al., 2002; pp: 67, Fig. 1) Por consiguiente, sería pertinente investigar la duración del ciclo biológico de esta

especie en Sierra Nevada en relación con la temperatura del agua y la altitud.

La escasez de datos biométricos sobre larvas de *C. boltonii* contrasta con su amplia distribución. Se ha llevado a cabo un análisis bibliográfico exhaustivo para evaluar los datos biométricos publicados sobre larvas de esta especie, por un lado, en libros y guías, y por otro en artículos. En el primer caso, se centran en el uso de caracteres morfológicos, *habitus* y la relación-proporción entre estructuras corporales, como se puede observar en Norling & Sahlén (1997), Askew (2004), Aguesse (1958) o Heidemann & Seidenbusch (2002). Este último proporciona una longitud total del cuerpo entre 37-46 mm para la larva F-0 de *C. boltonii*; Carchini (1983) aporta una longitud total entre 4-4.5 cm y Lingdell & Engblom (2010) una longitud total para larvas de Suecia de hasta 50 mm. Conesa-García (2021) utiliza la longitud total como parámetro común para las especies ibéricas y aporta la longitud aproximada de *C. boltonii* (45mm). En el caso de los artículos, los datos publicados se enfocan en valores de anchura cefálica y longitud de la pteroteca (Pfuhl, 1994; Ferreras-Romero & Corbet, 1999). Cano Villegas et al. (2012) proporcionan valores de anchura cefálica (larva 1: 6.5 mm; larva 2: 6.6 mm) y longitud de la pteroteca (larva 1: 4.6 mm; larva 2: 4.6 mm) para dos larvas hembra F-1 procedentes de Pirineos. Por otro lado, Bernauer et al. (2006) ofrecen valores de anchura cefálica (F-0: 8.8-7.7 mm; F-1: 6.9-5.9 mm; F-2: 5.6-4.8 mm) para larvas registradas en el Bosque del Palatinado, cerca de Wachenheim (Renania-Palatinado; Alemania) muy similares a los registrados en la Sierra La Culebra y Pirineos (Fig. 4a). Asimismo, Pfuhl (1994) aporta datos para larvas F-0 recogidas a baja altitud (300-400 m.s.n.m.) en Oberweserbergland (Baja Sajonia, Alemania), donde los valores de anchura cefálica se observan en la línea de los anteriores (F-0: 8.8-7.2 mm). Para la longitud de la pteroteca los valores son muy superiores (F-0: 11.8-8.50 mm), más en consonancia con los ofrecidos por Ferreras Romero & Corbet (1999) para ejemplares F-0 de Sierra Morena, registrados a poca altitud (400 m.s.n.m.).

Recientemente se ha llevado a cabo el primer análisis que compara larvas de esta especie en el

contexto ibérico (Hernández et al., 2024). El presente estudio incluye el primer análisis biométrico realizado con larvas de *C. boltonii* en el sureste ibérico, por lo que nuestros resultados contribuyen parcialmente a llenar el vacío de información para esta extensa área geográfica. Además, dada la escasez de datos disponibles, este modelo permitirá comparar los ejemplares de Sierra Nevada con los de otras regiones geográficas. En las figuras 4a y 4b se observa un aumento en los valores de la anchura cefálica conforme se avanza hacia el norte en las áreas montañosas comparadas, al menos desde Sierra Morena a Pirineos. Para el caso de Sierra Nevada, se observan valores medios de anchura cefálica muy similares a los aportados para Sierra Morena y algo menores a los registrados para el Sistema Central. En el estadio F-2 las larvas nevadenses tienen el valor promedio de anchura cefálica más pequeño en ambos sexos (Fig. 4a). En el estadio F-1, los valores promedio de los ejemplares de Sierra Nevada son mayores que los aportados para Sierra Morena, en ambos sexos. En el estadio F-0 los valores promedio en larvas de Sierra Nevada son algo superiores a los valores promedio aportados para Sierra Morena.

En lo que respecta a la longitud de la pteroteca (Fig. 4b), la relación observada para la anchura cefálica no es tan clara. En este caso, Sierra Nevada exhibe los valores más reducidos en los estadios F-1 y F-0.

En las comparativas realizadas (Figs. 4a y 4b) se observa que los incrementos en altitud producen un efecto similar al observado por Bergmann (1847) respecto al aumento de tamaño de los organismos en relación con la latitud. Esto podría explicar la diferencia de valores observados para la anchura cefálica entre larvas de Sierra Nevada y Sierra Morena, así como cierta semejanza con los ejemplares procedentes del Sistema Central. Comparando las altitudes a las que se recogieron los ejemplares del trabajo realizado por Hernández et al. (2024) con las de Sierra Nevada, todo parece indicar que el factor latitudinal afecta más al tamaño que el altitudinal. En este estudio los valores promedio más elevados para la anchura cefálica se han registrado en la población ubicada a menor altitud y latitud (Andarax).

Los valores obtenidos en la figura 4a contrastan, con los publicados para exuvias de Sierra Ne-

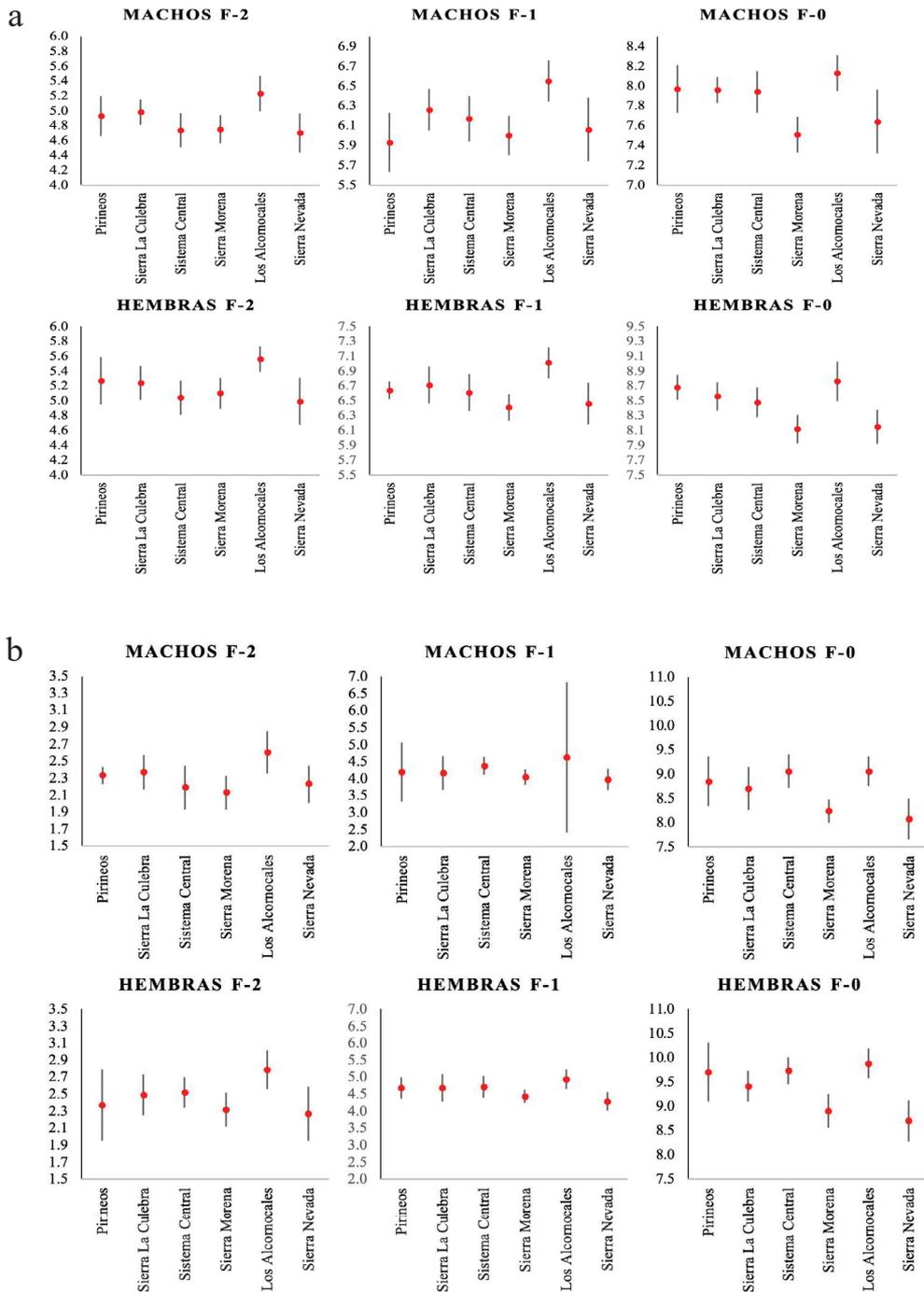


Figura 4. a) Valores medios de anchura cefálica (mm) y desviación estándar; b) Valores medios de longitud de la pteroteca (mm) y desviación estándar; Larvas de ambos sexos de los estadios F-0, F-1 y F-2 de seis zonas montañosas de la península Ibérica. 1: Pirineos; 2: Sierra de La Culebra; 3: Sistema Central; 4: Sierra Morena; 5: Sierra Nevada; 6: Los Alcornocales. M: Machos; H: Hembras; Fuente: datos de otros macizos montañosos obtenidos de Hernández et al. (2024). a) Average values of head width (mm) and standard deviation; b) Mean wing sheath values (mm) and standard deviation; Larvae of both sexes of stadia F-0, F-1 and F-2 from six mountainous areas of the Iberian Peninsula. 1: Pyrenees; 2: Sierra de La Culebra; 3: Central System; 4: Sierra Morena; 5: Sierra Nevada; 6: Los Alcornocales. M: Males; H: Females; Source: data from other mountain ranges obtained from Hernández et al. (2024).

vada y otras áreas montañosas. Investigaciones previas sobre exuvias (Casanueva et al., 2020b) en la península Ibérica y norte de Marruecos indicaron que los valores para Sierra Nevada eran inferiores a los de otras áreas geográficas, lo que aparentemente sugería que las larvas de Sierra Nevada podrían ser las más pequeñas entre las comparadas. Según Holusá (2022), la longitud de las exuvias de *Cordulegaster vanbrinkae* resultó muy superior a los valores obtenidos en larvas de la misma especie, en ambos sexos. Por lo tanto, los datos publicados sobre exuvias de Sierra Nevada no resultarían adecuados para comparar con los resultados de este análisis biométrico.

Los resultados de los valores de la anchura cefálica y longitud de la pteroteca (Figs. 4a y 4b) concuerdan con los obtenidos en este estudio. En larvas macho, los valores de estos parámetros son más heterogéneos y presentan un rango más amplio. En cambio, en larvas hembra los valores muestran una menor dispersión, con valores centrados alrededor de la media. La figura 4b muestra una distribución inusual de valores en larvas macho F-1 de Alcornocales.

Para las larvas de Los Alcornocales, la bonanza climática y una red trófica más compleja parecen ser los factores determinantes en el incremento del tamaño de los parámetros analizados. La temperatura ambiental y la disponibilidad de alimento son aspectos cruciales que influyen en el desarrollo de organismos acuáticos como los odonatos (Corbet 1964, 2004). Una mayor abundancia de presas a lo largo del año, el carácter térmico del entorno (como atestigua la vegetación de la zona) y un desarrollo larvario continuo sin interrupciones estacionales (Molina Rodríguez et al., 2022) podrían explicar los valores observados en estas larvas.

Cordulegaster boltonii boltonii, el taxón presente en Sierra Nevada según Froufe et al. (2014), se distribuye por las cinco cuencas del macizo (Romero Martín, 2019). En la parte almeriense los efectos del cambio climático (Fekete, et al., 2023; Estrada et al., 2024), en sinergia con modificaciones en el uso del suelo (Biswal, 2022) y el actual modelo de gestión del agua (Khelifa et al., 2021), están afectando de forma significativa a la estabilidad de los cauces de los ríos (Conesa García & Pérez Cutillas, 2014). Durante la última

década, la distribución de los odonatos autóctonos de montaña se ha reducido de forma sensible en las zonas inferiores de la sierra y de forma más acusada en la cuenca del río Andarax. Ante estas circunstancias, se prevé que las poblaciones de *C. boltonii* en la provincia de Almería sufran un impacto considerable en el corto y medio plazo.

Las medidas de protección implementadas por el Parque Nacional y Parque Natural de Sierra Nevada han contribuido a mantener poblaciones significativas dentro del área protegida, donde esta especie habita a lo largo de una amplia clina altitudinal (Romero Martín, 2019). El gradiente de condiciones ambientales que presentan los medios acuáticos en el macizo en función de la altitud es equivalente al observado en otros sistemas montañosos de la región biogeográfica mediterránea.

En las zonas inferiores de la sierra, caracterizadas por temperaturas más elevadas, el inicio del periodo de emergencia es anterior al registrado en zonas de mayor altitud (Corbet, 1964), lo que procura a esta especie un periodo de emergencia más prolongado (Ferrerías-Romero & Corbet, 1999; El Haissoufi et al., 2018). Factores como la abundancia de cursos de agua en el macizo, un extenso periodo de emergencia y la capacidad de dispersión de la especie, respaldada en cortos vuelos migratorios (Hančíková, 2014), podrían facilitar el intercambio genético entre poblaciones cercanas, contribuyendo a la homogeneidad de los resultados obtenidos en las cinco poblaciones analizadas. Sin embargo, las poblaciones de *C. boltonii* de Sierra Nevada se encuentran aisladas. A la vista de los resultados obtenidos sería de gran interés investigar la viabilidad del flujo genético entre ejemplares de Sierra Nevada y de otros macizos montañosos cercanos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Junta de Andalucía los permisos concedidos para la recolección de las muestras de odonatos en los ríos objeto de estudio y la financiación obtenida a través del proyecto “Sierra Nevada con ojos de odonato” – EN/2011/18/00090.

Así mismo, a los revisores anónimos por su labor que ha mejorado sustancialmente este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguesse, P. (1958). *Faune terrestre et d'eau douce des Pyrénées-Orientales. Fascicule 4-Odonates*. Université de Paris. France.
- Askew, R. R. (2004). *The Dragonflies of Europe*. Harley Books. Colchester. United Kingdom.
- Benke, A. C. (1970). A Method for Comparing Individual Growth Rates of Aquatic Insects with Special Reference to the Odonata. *Ecology*, 51, 328-333. DOI: 10.2307/1933673
- Bergmann, C. (1847). Über die Verhältnisse der Wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Grösse. *Göttinger Studien*, 3, 595-708
- Bernauer, D., Grasbow, K., & Martens, A. (2006). Fang von Libellenlarven durch Elektrofischung (Odonata: Cordulegastridae). *Libellula*, 25, 165-169.
- Biswal, T. (2022). Climate Change and Its Impact on Soil Fertility and Life Forms. *Research Anthology on Environmental and Societal Impacts of Climate Change*, 10, 1229-1255. DOI: 10.4018/978-1-6684-3686-8.ch060
- Bo, T., Fenoglio, S., López-Rodríguez, M. J., & Tierno de Figueroa, J. M. (2011). Trophic behaviour of the dragonfly *Cordulegaster boltonii* (Insecta: Odonata) in small creeks in NW Italy. *Entomologica Fennica*, 255-261. DOI: 10.33338/ef.84553.
- Boudot, J. -P. (2001). Les Cordulegaster du Paléarctique occidental: identification et répartition (Odonata, Anisoptera, Cordulegastridae). *Martinia*, 17(1), 3-34.
- Boudot, J-P., & Holuša, O. (2015). *Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807). In J. P. Boudot & V. J. Kalkman (eds.). *Atlas of European dragonflies and damselflies*. (pp. 213- 215). KNNV publishing. The Netherlands.
- Brettfeld, R. (1989). Die Zweigestreifte Quelljungfer (*Cordulegaster boltonii* Donovan) aus der Gruppe der Fliessgewässerlibellen (Insecta, Odonata). *Veröffentlichungen des Naturhistorischen Museums Schleusingen*, 4, 2-12.
- Burchett, W. W., Ellis, A. R., Harrar, S. W., & Bathke, A. C. (2017). Nonparametric Inference for Multivariate Data: The R Package nrmv. *Journal of Statistical Software*, 76(4), 1-18. DOI: 10.18637/jss.v076.i04
- Cano-Villegas, F. J., Conesa-García, M. A., Bernal, A., Rodríguez P. C., & Lockwood, M. (2012). Notas sobre la situación de *Cordulegaster bidentata* Selys, 1843 (Odonata, Cordulegastridae) en el Pirineo de Lérida (noroeste de España). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 51, 337-339.
- Cano-Villegas, F. J., Conesa-García, M. A., & Bernal, A. (2013). Aportación al conocimiento de los odonatos de alta montaña mediterránea en Andalucía oriental (Granada y Almería), España. *Boletín de la Sociedad Odonatológica de Andalucía*, 1, 16-22.
- Carchini, G. M. (1983). *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane, n° 21; Odonati*. Consiglio nazionale delle ricerche. Roma. Italy
- Casanueva, P., Hernández, M. A., & Campos, F. (2017). ¿Varía el tamaño de las exuvias de *Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807) (Odonata: Cordulegastridae) durante el periodo de emergencia en ríos de montaña? *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 61, 271-272.
- Casanueva, P., Santamaría, T., Ferreira Nunes, L., Hernández, M. A., Sánchez, L. F., & Campos, F. (2020a). *Cordulegaster boltonii* la libélula tigre de los arroyos. Colección M. A 8. Universidad católica de Ávila. Ávila. España
- Casanueva, P., Santamaría, T., Hernández, M. A., Sánchez-Sastre, L. F., Teixeira, A., Bennis, N., El Haisoufi, M., Ferreras-Romero, M. & Campos, F. (2020b). Biometric differences between several populations of *Cordulegaster boltonii* (Odonata: Cordulegastridae) in Ibero-Maghrebian area. *European Journal of Entomology*, 117, 260-264. DOI: 10.14411/eje.2020.028
- Cerini, F., Stellati, L., Luiselli, L., & Vignoli, L. (2020). Long-term shifts in the communities of odonata: effect of chance or climate change? *North-Western Journal of Zoology*, 16, 1-16.
- Chovanec, A., Schindler, M., Waringer, J., & Wimmer, R. (2015). The Dragonfly association index (Insecta: Odonata). A tool for the type specific assessment of lowland rivers. *River research and Applications*, 31, 627-638. DOI: 10.1002/rra.2760
- Conesa García, C., & Pérez Cutillas, P. (2014).

- Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica. Síntomas y problemas de incisión en los cauces. *Revista de Geografía Norte Grande*, 59, 25-44.
- Conesa-García, M. A. (2016). Fauna odonológica en la presa de Las Cuevas de Funes y cabecera del Río Verde, (Otívar, Granada, España). *Boletín Asociación Odonológica de Andalucía*, 4, 9.
- Conesa-García, M. A. (2021). *Larvas de libélulas en la península ibérica*. Torres Editores, Granada, España.
- Corbet P. S. (1964). Temporal patterns of emergence in aquatic insects. *The Canadian Entomologist*, 96, 264-279. DOI: 10.4039/Ent96264-1
- Corbet, P. S. (2002). Stadia and growth ratios of Odonata: a review. *International Journal of Odonatology*, 5(1), 45-73. DOI: 10.1080/13887890.2002.9748176
- Corbet, P. S. (2004) (revised edition). *Dragonflies: Behaviour and Ecology of Odonata*. Harley Books. Colchester. UK.
- DO. (1992). Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. *Diario Oficial*, 206, de 22 julio de 1992.
- El Haissofi, M., Bennis, N., Hernández, M. A., Casanueva, P., & Campos, F. (2018). Biometrics of exuviae of *Cordulegaster boltonii* algerica Morton, 1916 (Odonata: Cordulegastridae). *Aquatics Insects*, 39(4), 407-413. DOI: 10.1080/01650424.2018.1476720
- Estrada, L., García, X., Saló, J., Marcé, R., Munné, A., & Acuña, V. (2024). Spatio temporal patterns and trends of streamflow in water-scarce Mediterranean basins. *EGUsphere* [preprint]. DOI: 10.5194/egusphere-2023-3007
- Fekete, J., De Knijf, G., Dinis, M., Padisák, J., Boda, P., Mizsei, E., & Várbiro, G. (2023). Winners and Losers: *Cordulegaster* Species under the Pressure of Climate Change. *Insects*, 14(4), 348. DOI: 10.3390/insects14040348
- Ferreras-Romero, M., & Corbet, P. S. (1999). The life cycle of *Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807) (Odonata: Cordulegastridae) in the Sierra Morena mountains (southern Spain). *Hydrobiologia*, 405, 39-48. DOI: 10.1023/A:1003763819991
- Folson, T. C. (1979). Equations relating commonly used morphological measurements of *Anax junius* (Drury) (Anisoptera: Aeshnidae), including an allometric analysis of size. *Odonatologica*, 8, 103-109.
- Froufe, E., Ferreira, S., Boudot, J. P., Alves, P. C., & Harris, D. J. (2014). Molecular phylogeny of the Western Palaearctic *Cordulegaster* taxa (Odonata: Anisoptera: Cordulegastridae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 111, 49-57. DOI: 10.1111/bij.12190
- Gandica de Roa, E. (2020). Potencia y Robustez en Pruebas de Normalidad con Simulación Montecarlo. *Revista Scientific*, 5(18), 108-119. DOI: 10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2020.5.18.5.108-119
- Hančíková, B. (2014). Local dispersal of Golden-ringed dragonfly *Cordulegaster boltonii*. (PhD. Thesis. Charles University, Czech Republic).
- Hassall, C. (2015). Odonata as candidate macroecological barometers for global climate change. *Freshwater Science*, 34(3), 1040-1049. DOI: 10.1086/682210
- Heidemann, H., & Seidenbusch, R. (2002); *Larves et exuvies de libellules de France et Allemagne*; Société française d'odonatologie (SFO). Bois-d'Arcy. France
- Hernández, M. A., Casanueva, P., Oscoz, J., Sánchez-Sastre, L. F., Ferreras-Romero, M., & Campos, F. (2024). Geographical variation in size of the three final stadia of *Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807) larvae in the Iberian Peninsula (Odonata: Cordulegastridae). *International Journal of Odonatology*, 22, 77-84. DOI: 10.48156/1388.2024.1917271
- Holusá, O. (2022) Description of the last instar larva of *Cordulegaster vanbrinkae* and emergence place from northern Iran (Odonata: Cordulegastridae). *International Journal of Odonatology*, 25, 72-79. DOI: 10.48156/1388.2022.1917175
- Kassambara, A. (2023). rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests. R package version 0.7.2. <https://rpkgs.datanovia.com/rstatix/>.
- Khelifa, R., Mahdjoub, H., Baaloudj, A., Can-

- nings, R. A., & Samways, M. J. (2021). Effects of both climate change and human water demand on a highly threatened dam-selfly. *Scientific Reports*, 11, 7725. DOI: 10.1038/s41598-021-86383-z
- Korkmaz, S., Goksuluk, D., & Zararsiz, G. (2014). MVN: An R Package for Assessing Multivariate Normality. *The R Journal*, 6, 151-162. DOI: 10.32614/RJ-2014-031
- Lingdell, E., & Engblom, E. (2010). *Fakta om småkryp i Dalarnas vattendag*. Limnodata H.B, Rapport 2013:06. Länsstyrelsen dalarnas. Darlanas. Sweden.
- López-Rodríguez, M. J., Alba-Tercedor, J., Galiana-García, M., Larios-López, J. E., Sainz-Cantero Caparrós, C. E., Tierno de Figueroa, J. M., Villar-Argaiz, M. & Zamora-Muñoz, C. (2022). Aquatic animal communities of watercourses from Sierra Nevada. In: R. Zamora, & M. Oliva (eds.). *The landscape of Sierra Nevada: A unique laboratory of global processes*. (pp. 245-260). Springer Nature. Switzerland.
- Luzón-Ortega, J. M., & Tierno de Figueroa, J. M. (2000). Primeras citas de odonatos (Insecta: Odonata) del Parque Natural de la Sierra de Huétor (Granada, España). *Boletín de la Asociación Española de Entomología*, 24(1-2), 257-259.
- Martín, R., & Maynou, X. (2016). Dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of habitat quality in Mediterranean streams and rivers in the province of Barcelona (Catalonia, Iberian Peninsula). *International Journal of Odonatology*, 19, 107-124. DOI: 10.1080/13887890.2016.1172991
- Martín, R., & Maynou, X. (2023). Larval development and voltinism of rheophilous Odonata from a Mediterranean river in the north-eastern Iberian Peninsula. *Odonatologica*, 52(1/2), 25-48. DOI: 10.5281/odon.v52i1-2.a3
- Molina Rodríguez J., Hernández M. A., & Ferreras-Romero, M. (2022). Biometric differences across three populations of *Boyeria irene* from the southern Iberian Peninsula (Odonata: Aeshnidae). *Odonatologica*, 51, 247-262. DOI: 10.60024/odon.v51i3-4.a3
- Norling, U. (1984). Life history patterns in the northern expansion of dragonflies. *Advances in Odonatology*, 2, 127-156.
- Norling, U., & Sahlén, G. (1997). Odonata, dragonflies and damselflies. Vol.2. In: A. N. Nilsson (ed.). *Aquatic insects of North Europe: a taxonomic handbook*. (pp. 13-65), Apollo. Stenstrup, Denmark.
- Ormerod, S. J., Weatherly, N. S., & Merrett, W. J. (1990). The influence of conifer plantations on the distribution of the Golden Ringed Dragonfly *Cordulegaster boltonii* (Odonata) in upland Wales. *Biological Conservation*, 53, 241-251. DOI: 10.1016/0006-3207(90)90095-7
- Paulson, D. R., & Jenner, C. E. (1971). Population structures in overwintering larval Odonata in North Carolina in relation to adult flight season. *Ecology*, 52, 1, 96-107. DOI: 10.7818/ECOS.2016.25-1.08
- Pérez-Luque, A. J., Bonet, F. J., Zamora, R., Barea-Azcón, J. M., Aspizua, R., & Sánchez-Gutiérrez, F. J. (2016). Señales del cambio global en el sitio LTER-Sierra Nevada. *Ecosistemas*, 25, 65-71. DOI: 10.7818/ECOS.2016.25-1.08
- Pérez Raya, F. Molero Mesa, J., & Valle Tendero, F. (1992): *Parque Natural de Sierra Nevada. Paisaje, fauna, flora, itinerarios*. Ed. Rueda. Madrid. España.
- Pfuhl, D. (1994). Autökologische Untersuchungen an *Cordulegaster boltonii* (Donovan, 1807) (Insecta, Odonata). (PhD. Diplomarbeit. Georg-August-Universität, Duestschland)
- R Development Core Team. (2022). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing Vienna. Available online at: <http://www.R-project.org>
- Romero Martín, A. (2019). Análisis preliminar de los Odonatos (Insecta: Odonata) de Sierra Nevada (España). Distribución, abundancia y estatus de conservación. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 64, 229-241.
- Schütte, C. (1997). Egg development and early instars in *Cordulegaster boltonii* immaculifrons Selys: a field study (Anisoptera: Cordulegasteridae). *Odonatologica*, 26, 83-87.
- Suhling, F., Suhling, I., & Richter, O. (2015). Temperature response of growth of larval dragonflies -an overview. *International*

- Journal of Odonatology*, 18, 15-30. DOI: 10.1080/13887890.2015.1009392
- Tennessen, K. (2017). A method for determining stadium number of late stage dragonfly nymphs (Odonata: Anisoptera). *Entomological News*, 126, 299-306. DOI: 10.3157/021.126.0407
- Torrallba Burrial, A. (2009). Estado ecológico, comunidades de macroinvertebrados y de odonatos de la red fluvial de Aragón. (PhD. Tesis. Universidad de Oviedo, España). <http://hdl.handle.net/10651/19258>
- Toro, M., Robles, S., Avilés, J., Nuño, C., Vivas, S., Bonada, N., Pardo, I. (2002). Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. Características físico-químicas. *Limnetica*, 21(3-4), 63-75. DOI: 10.23818/limn.21.18
- Verschuren, D. (1989). Revision of the larvae of West-Palaeartic *Cordulegaster* Leach 1815 (Odonata, Cordulegastridae) with a key to the considered taxa and a discussion on their affinity. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique Entomologie*, 125, 5-35.
- Woodward, G., & Hildrew, A. G. (2001). Invasion of a stream food web by a new top predator. *Journal of Animal Ecology*, 70, 273-288. DOI: 10.1046/j.1365-2656.2001.00497.x
- Zeuss, D., Brunzel, S., & Brandl, R. (2017). Environmental drivers of voltinism and body size in insect assemblages across Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 26, 154-165. DOI: 10.1111/geb.12525