

# Efectes del canvi climàtic a les rieres del Montseny: la importància dels canvis interanuals

PAU FORTUÑO ESTRADA, NARCÍS PRAT FORNELLS, RAÚL ACOSTA, MIGUEL CAÑEDO-ARGÜELLES, JOSÉ MARÍA FERNÁNDEZ-CALERO, NIEVES LÓPEZ-RODRÍGUEZ, GUILLERMO QUEVEDO-ORTIZ, MARIA SORIA-EXTREMERA, IRAIMA VERKAİK I NÚRIA BONADA  
Grup de Recerca Freshwater Ecology, Hydrology and Management (FEHM). Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals. Universitat de Barcelona

## Resum

Les parts més altes dels rius i rieres del Montseny són els únics indrets de la Serralada Prelitoral Catalana on és present l'espècie *Baetis gr. alpinus*. Es tracta d'una espècie d'efemeròpter amb nimfes que viuen exclusivament en corrents d'aigua freda i ben oxigenada a les parts més altes de les muntanyes europees, i, per tant, amb una gran potencialitat com a indicadora dels efectes del canvi climàtic. Ateses les condicions restringides en què viu, estudiar la distribució i la variació en el temps de les seves poblacions al Montseny és especialment interessant, ja que podria acabar desapareixent per no trobar-hi les condicions òptimes de vida. En aquest treball es compara la distribució de *Baetis gr. alpinus* observada l'any 2007 amb la del 2020 i el 2021 per tal de poder determinar si els canvis al llarg del temps presenten o no una tendència segons els canvis en les condicions climàtiques.

## Paraules clau

Canvi global, riu, efemeròpter, *Baetis gr. alpinus*, hidrologia

## Resumen

### Efectos del cambio climático en los arroyos del Montseny: la importancia de los cambios interanuales

Las partes más altas de los ríos y arroyos del Montseny son los únicos lugares de la Cordillera Prelitoral Catalana donde está presente la especie *Baetis gr. alpinus*. Se trata de una especie de efemeróptero con ninfas que viven exclusivamente en corrientes de agua fría y bien oxigenada en las partes más altas de las montañas europeas, y, por tanto, con una gran potencialidad como indicadora de los efectos del cambio climático. Dadas las restringidas condiciones en las que vive, estudiar la distribución y la variación en el tiempo de sus poblaciones en el Montseny es especialmente interesante, ya que podría acabar desapareciendo por no encontrar las condiciones óptimas de vida. En este trabajo se compara la distribución de *Baetis gr. alpinus* observada en 2007 con la de 2020 y 2021 a fin de poder determinar si los cambios a lo largo del tiempo presentan o no una tendencia según los cambios en las condiciones climáticas.

## Palabras clave

Cambio global, río, efemeróptero, *Baetis gr. alpinus*, hidrología

## Abstract

### Effects of Climate Change on Montseny's Streams: the importance of inter-annual change

The highest parts of Montseny rivers and streams are the only places in the Catalan Pre-Coastal Mountain Range where the species *Baetis gr. alpinus* is to be found. This is an ephemeroptera species with nymphs which lives exclusively in cold, well-oxygenated water currents in the highest parts of European mountains and hence has great potential as an indicator of the effects of climate change. Given the restricted conditions in which it lives, studying the distribution and variation over time of its populations in el Montseny is of particular interest since it might end up dying out because it cannot find optimal living conditions. In this paper we compare the distribution of *Baetis gr. alpinus* observed in 2007 with 2020 and 2021 in order to ascertain whether or not the changes over time display a trend in line with changes in climatic conditions.

## Key words

Global change, river, ephemeroptera, *Baetis gr. alpinus*, hydrology

## Introducció

Diferents estudis elaborats fins al moment al massís del Montseny assenyalen que els efectes del canvi climàtic ja s'estan deixant sentir en una bona part dels seus ecosistemes (BOADA i PUJANTELL, 2020). Com ja vàrem assenyalar en un treball anterior (FORTUÑO *et al.*, 2018, [taula 1](#)), les dades de temperatura i precipitació a l'observatori Turó de l'Home - Puig Sesolles mostren un increment de 0,24 °C en la temperatura mitjana anual de l'aire en el període 1950-2015, amb canvis segons les estacions des de 0,18 °C (a la tardor) fins a 0,34 °C (a l'estiu), i la tendència en tots els casos (anual o estacional) és significativa. En canvi, pel que fa a les precipitacions, en el mateix treball observàvem que, tot i que hi ha un decreixement tant en la mitjana anual (-1,8 litres) com en les diferents estacions (fins a -4,70 a l'estiu), no és significatiu.

Els canvis de les temperatures de l'aire i la precipitació, units a una major evapotranspiració (ETP) de la vegetació de les conques dels diferents torrents i rieres del Montseny, ens poden fer pensar en un augment de les temperatures mitjana i estacional de les seves aigües i en una disminució dels cabals circulants. Aquests canvis coincideixen amb els proposats segons diferents models (DÖLL i SCHMIED, 2012), i ja s'han detectat en algunes conques de rius mediterranis, com a la vall d'Olzinelles (OTERO *et al.*, 2011). Malauradament, no hi ha dades en continu de la temperatura o dels cabals dels torrents del Montseny i, per tant, no és possible afirmar de forma clara que aquests torrents han augmentat de temperatura o han disminuït de forma significativa el cabal. Les dades puntuals que es recullen no permeten veure bé si hi ha aquesta tendència, però sí que es podria veure de forma indirecta mitjançant el canvi de les comunitats que són resultat dels canvis ambientals.

Efectivament, els canvis de temperatura de l'aigua i de l'escolament dels rius tenen efecte sobre les comunitats d'organismes aquàtics, com s'ha vist en diferents casos en rius mediterranis (DOMISCH *et al.*, 2013; HICKLING *et al.*, 2005; THEODOROPOULOS i KARAOUZAS, 2021; SAUER *et al.*, 2011; JOURDAN *et al.*, 2018; CONTI *et al.*, 2014). Les respostes al canvi climàtic són variades i inclouen canvis en la distribució de les espècies i en els seus cicles de vida, entre altres, amb efectes sobre les poblacions i les comunitats locals (FILIFE *et al.*, 2013).

Els estudis a llarg termini del projecte CARIMED ([www.ub.edu/barcelonarius](http://www.ub.edu/barcelonarius)) han permès obtenir algunes informacions sobre els canvis que ja hi ha hagut al Montseny en els darrers anys. En un primer treball, PRAT *et al.* (2014) varen observar que una localitat de la capçalera del torrent de Riudeboix (B29), afluent de la riera d'Avencó, mostrava diferències en les comunitats de macroinvertebrats entre els primers estudis dels anys vuitanta i les dades dels inicis dels anys 2000, però sense una tendència clara atribuïble al canvi climàtic. En un treball posterior, FORTUÑO *et al.* (2018) varen comparar les dades d'aquesta localitat (d'orientació sud) amb unes altres, les del torrent de Coll Pregon (Teb1) (d'orientació nord), i es va concloure que hi havia diferències significatives. Al final del treball es considerava la hipòtesi que el canvi climàtic podria donar com a resultat que les comunitats amb orientació nord

(ambients més freds i humits) podrien transformar-se en comunitats més similars a les de la localitat amb orientació sud i arribar-se a assecar a l'estiu (quan la disminució de la precipitació i l'augment de la temperatura són més grans).

Una de les espècies de macroinvertebrats aquàtics més característica d'aquestes àrees de més altitud del Montseny és l'efemeròpter *Baetis gr. alpinus* (PICTET, 1843). Els efemeròpters són un grup molt sensible als canvis de temperatura i bons indicadors de l'escalfament i la disminució de l'oxigen de l'aigua (FIGUEROA *et al.*, 2010). Precisament, *Baetis gr. alpinus* està distribuït per rius i torrents de muntanya i alta muntanya per tot Europa (MONAGHAN *et al.*, 2002; FINN *et al.*, 2013; FINN *et al.*, 2014), i requereix altes concentracions d'oxigen i temperatures baixes per a viure. Al Montseny aquesta espècie està distribuïda majoritàriament per sobre de 1.000 metres sobre el nivell del mar (MÚRRIA *et al.*, 2014). A més, també se sap que les poblacions del Montseny tenen una configuració genètica diferent a la de les poblacions de la mateixa espècie que hi ha al Pirineu, i que, per tant, la seva desaparició significaria la pèrdua d'una informació genètica única (MÚRRIA *et al.*, 2014). És, doncs, una espècie molt interessant, ja que la disminució de la seva freqüència i abundància al massís podria ser una indicació clara d'un canvi ambiental potencialment irreversible.

Per tot plegat, ens podríem preguntar: Podria ser que l'augment de la temperatura i la disminució dels cabals dels rius del Montseny afectessin aquesta espècie fins a fer-la desaparèixer? Seria possible examinar aquest canvi amb les dades del seguiment fet d'aquesta espècie en els darrers anys? Els objectius d'aquest treball se centren a buscar resposta a aquestes preguntes i a comprovar si *Baetis gr. alpinus* pot ser una bona espècie sentinella del canvi climàtic, que fins i tot ens pugui marcar el «punt crític» en el qual el canvi sigui irreversible i l'espècie s'extingeixi al Montseny. En aquest treball s'usen les dades de seguiment del projecte CARIMED per a fer una anàlisi de la situació actual i intentar respondre a aquestes preguntes.

## Punts de mostreig

En aquest treball es presenten les dades recollides del 2013 al 2021 dels quatre punts de mostreig del projecte CARIMED, situats al Montseny, on algun cop s'ha trobat *Baetis gr. alpinus*: el torrent de Coll Pregon (Teb1) i la riera Major de Viladrau (Teb2), situats en vessants d'orientació nord, i el torrent de Riudeboix (B29) i el riu Tordera, al pont de la Llavina (T00), situats en vessants d'orientació sud. Els Teb1 i B29 se situen a les parts altes o de capçalera, a més de 1.000 metres sobre el nivell del mar, i els altres dos se situen en zones mitjanes (per sobre de 500 msnm). A més, durant els anys 2020 i 2021 s'han estudiat cinc punts de mostreig més de capçaleres de rieres i torrents del Montseny, tots situats a més de 1.000 metres sobre el nivell del mar, per fer un seguiment més extens de la distribució d'aquesta espècie al Montseny i actualitzar-la respecte a la recollida en treballs previs (PUIG, 1983;

MÚRRIA *et al.*, 2014). Aquests cinc punts s'ubiquen al torrent dels Rentadors, la riera de la Bessa, el Rigròs, la Tordera a Sant Marçal i la riera de Passavets. En tots nou punts s'han fet dos mostrejos a l'any: un a la primavera i un a l'estiu.

**Taula 1. Punts de mostreig. Els primers quatre punts són els del projecte CARIMED i els altres cinc són els de les capçaleres on s'ha fet el seguiment de *Baetis gr. alpinus* durant el 2020 i el 2021**

Codi	Nom	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Teb1	Torrent de Coll Pregon	41.81176	2.39137	1.211
B29	Torrent de Riudeboix	41.81307	2.34178	1.047
T00	La Tordera al pont de la Llavina	41.77394	2.38781	520
Teb2	Riera Major a Viladrau	41.83012	2.393078	845
StMarçal	Sant Marçal - Capçalera de la Tordera	41.79989	2.42313	998
Passavets	Riera de Passavets	41.78085	2.45017	1.221
Rentadors	Torrent dels Rentadors	41.80998	2.35544	1.286
Bessa	Riera de la Bessa	41.79422	2.37004	1.049
Rigròs	Rigròs-Capçalera	41.80651	2.41103	1.066

**Mapa 1. Punts de mostreig**



Els cercles blaus són els punts del projecte CARIMED i els cercles verds són els de les capçaleres on s'ha fet el seguiment de *Baetis gr. alpinus* durant el 2020 i el 2021. La línia puntejada groga representa la cota de 1.000 msnm. Font: Ortofoto vigent (2021) de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC).

## Material i mètodes

El mostreig es va fer seguint tots els mètodes d'estudi del programa «Qualitat dels rius de la província de Barcelona» ([www.ub.edu/barcelonarius](http://www.ub.edu/barcelonarius)). Les nimfes de la família d'efemeròpters *Baetidae* foren mostrejades amb mostreig multihàbitat en una xarxa de 250 micròmetres seguint el protocol GUADALMED (JÁIMEZ-CUÉLLAR *et al.*, 2002). Les mostres foren conservades en etanol al 70 % i mantingudes a -20 °C en una càmera frigorífica fins al moment del processament i la identificació al laboratori. Els exemplars de la família *Baetidae* foren identificats utilitzant la guia d'identificació dels efemeròpters dels rius Llobregat i Besòs, publicada pel grup FEHM (PACE *et al.*, 2013), per tal d'obtenir el nivell d'espècie o grup d'espècies de les nimfes del gènere *Baetis*. A part de la mostra biològica, per cada punt també es varen recollir dades del cabal i de variables fisicoquímiques generals (conductivitat, temperatura, oxigen, pH) per conèixer la possible influència del canvi climàtic en la distribució de *Baetis* gr. *alpinus*.

Per tal de saber la possible influència de la precipitació en la presència i abundància de l'espècie, s'han obtingut els valors de l'Standardized Precipitation Index (SPI) del web [monitordesequia.csic.es](http://monitordesequia.csic.es), on s'ofereix una eina de visualització i descàrrega d'índexs de sequera amb una resolució d'1.1 quilòmetres (VICENTE-SERRANO, 2017). Les dades descarregades foren les d'un punt central del Montseny situat entre el Matagalls i el turó de l'Home (latitud 41.8012, longitud 2.3931). L'SPI és el valor de precipitació d'un determinat període de mesos que s'estandarditza segons la pluja caiguda en el mateix període durant els vint anys anteriors. Segons MUNNÉ i PRAT (2011), és un bon índex per a mostrar quines han estat les condicions de cabal anteriors al moment del mostreig i definir períodes humits i secs en els rius mediterranis.

Finalment, també s'han recollit els valors de la temperatura atmosfèrica de l'estació meteorològica de puig Sesolles, situada a 1.668 metres sobre el nivell del mar. Aquesta és una de les estacions de la Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques (XEMA) del Servei Meteorològic de Catalunya, les dades de les quals es poden consultar a la seva pàgina web ([www.meteo.cat](http://www.meteo.cat)). S'han recollit dades diàries de temperatures mitjana, màxima i mínima; dades de temperatures mitjana; mitjana de les màximes, i mitjana de les mínimes del mes en curs, és a dir, el mes en què s'ha fet cada mostreig. També s'han tingut en compte les mateixes dades mensuals (mitjana, màxima i mínima) del més anterior i dels dos mesos anteriors al mes del mostreig.

Per determinar si hi ha diferències significatives entre les diferents variables tingudes en compte respecte a si *Baetis* gr. *alpinus* estava present o no en un determinat mostreig, s'han fet anàlisis de variància (ANOVA), i per representar gràficament els resultats de les variables amb diferències significatives, s'han creat gràfics Box-Plot. Per fer-ho, s'ha utilitzat el programa R (versió 4.1.2).



## Resultats

### Condicions hidrològiques i fisicoquímiques dels punts de mostreig

La major part de punts varen mantenir aigua circulant durant tot l'any. El B29 es va assecar durant tres estius (del 2017, el 2019 i el 2021), i durant tres més va romandre amb basses desconnectades (del 2015, el 2016 i el 2018). A l'estiu del 2021 també es va trobar, al punt de la Bessa, l'aigua sense circular que formava basses desconnectades.

En totes les ocasions, els valors de conductivitat eren molt baixos (per sota de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Es tracta, doncs, d'aigües poc mineralitzades, típiques de la zona del Montseny. La temperatura de l'aigua a la primavera es va mantenir per sota de 10 °C en tots els punts, excepte en els dos que són per sota de 1.000 metres sobre el nivell del mar (T00 i Teb2, [taules 2 i 3](#)), i a l'estiu rarament varen arribar a 15 °C. El pH va ser aproximadament neutre, mentre que l'oxigen a la primavera es va aproximar a 10 mg/l o els va superar, i a l'estiu fou més baix i en algun punt inferior a 6 mg/l (B29 i Bessa, [taules 2 i 3](#)).

**Taula 2. Valors mitjans i desviació estàndard del cabal i els indicadors fisicoquímics dels punts de mostreig CARIMED estudiats durant l'època de la primavera i l'estiu dels anys 2013-2021**

Punt	Època	Cabal (l/s)	Conductivitat ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura (°C)	pH	Oxigen (mg/l)	Oxigen (% sat.)
B29	prim.	4,33 $\pm$ 8,15	49,5 $\pm$ 13,8	9,11 $\pm$ 1,69	7,8 $\pm$ 0,7	9,85 $\pm$ 1,12	84,6 $\pm$ 8,0
	estiu	0,10 $\pm$ 0,17	74,0 $\pm$ 12,7	15,85 $\pm$ 1,46	7,6 $\pm$ 0,6	5,74 $\pm$ 1,32	58,0 $\pm$ 13,1
T00	prim.	156,11 $\pm$ 129,26	83,8 $\pm$ 15,3	12,48 $\pm$ 1,18	7,6 $\pm$ 0,4	9,51 $\pm$ 1,17	89,1 $\pm$ 9,1
	estiu	52,36 $\pm$ 22,02	109,0 $\pm$ 14,8	17,39 $\pm$ 1,23	7,5 $\pm$ 0,5	8,48 $\pm$ 0,88	88,4 $\pm$ 9,3
Teb1	prim.	8,27 $\pm$ 7,29	46,6 $\pm$ 10,4	7,88 $\pm$ 3,4	7,4 $\pm$ 0,4	10,09 $\pm$ 1,65	86,9 $\pm$ 12,7
	estiu	1,64 $\pm$ 1,47	62,2 $\pm$ 7,8	13,47 $\pm$ 1,05	7,5 $\pm$ 0,3	8,91 $\pm$ 0,81	85,5 $\pm$ 6,6
Teb2	prim.	63,11 $\pm$ 39,29	113,1 $\pm$ 23,3	11,09 $\pm$ 1,31	7,6 $\pm$ 0,4	9,80 $\pm$ 1,49	88,8 $\pm$ 12,2
	estiu	24,68 $\pm$ 31,71	149,1 $\pm$ 15,1	14,63 $\pm$ 0,76	7,6 $\pm$ 0,3	7,91 $\pm$ 2,28	79,0 $\pm$ 22,9

**Taula 3. Valors del cabal i els indicadors fisicoquímics dels punts de mostreig de la capçalera del Montseny en l'estudi del 2021**

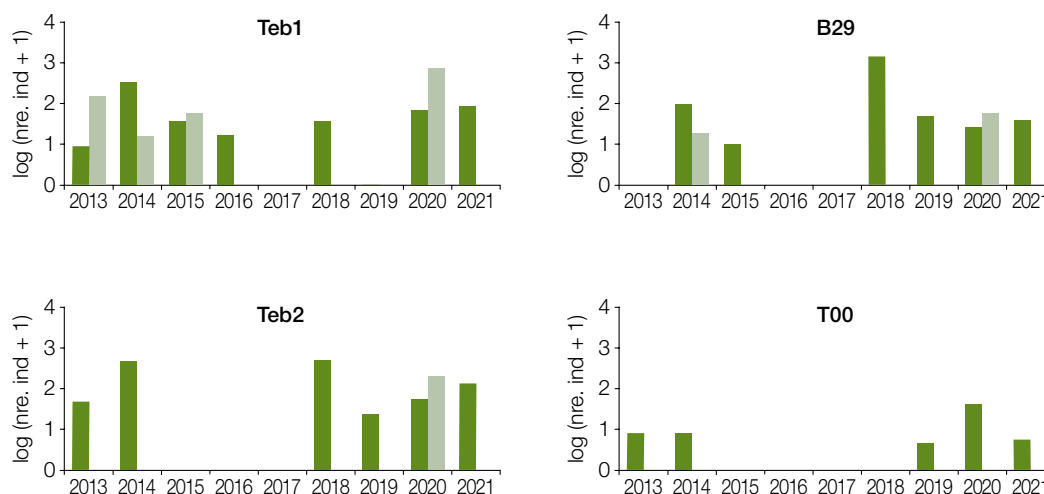
Punt	Època	Cabal (l/s)	Conductivitat (µS/cm)	Temperatura (°C)	pH	Oxigen (mg/l)	Oxigen (% sat.)
Bessa	prim.	8,4	49,0	6,0	6,62	12,75	102,1
	estiu	0	96,8	13,6	7,18	4,23	40,8
Rigròs	prim.	6,1	135,0	7,0	7,05	11,23	92,8
	estiu	1,5	144,0	13,2	7,73	8,53	81,3
Passavets	prim.	14,9	53,3	7,1	6,42	10,86	90,8
	estiu	4,5	43,1	12,5	7,53	8,53	79,9
Rentadors	prim.	5,5	51,3	5,1	6,30	11,56	90,6
	estiu	0,5	99,9	13,6	7,46	7,50	70,6
Sant Marçal	prim.	4,1	148,6	8,2	6,95	11,42	95,2
	estiu	1,7	162,3	12,8	7,95	9,59	90,6

### Presència de *Baetis gr. alpinus* al Montseny

Com es pot veure al [gràfic 1](#), *Baetis gr. alpinus* s'ha trobat més o menys abundantment a les quatre estacions del projecte CARIMED, almenys en algun dels mostresos fets entre l'any 2013 i el 2021. La presència de l'espècie és més constant al Teb1, situat al vessant nord del Matagalls. Al punt de mostreig B29 del vessant sud se sol trobar només a la primavera, i arriba a desaparèixer durant períodes de temps llargs, de fins a diversos anys, com per exemple de l'estiu del 2015 fins al 2018. Als punts que no són de capçalera, la seva presència és més puntual, tot i que pot arribar a tenir abundàncies relativament altes en algun moment, sobretot a la riera Major de Viladrau (Teb2) a la primavera. Al pont de la Llavina de la Tordera (T00), la seva presència és molt anecdòtica, i quan s'hi troba és amb abundàncies molt baixes. Pel que fa a les diferències entre les abundàncies de la primavera i l'estiu, es pot observar que sol ser més abundant a la primavera i que a l'estiu sol desaparèixer. En canvi, l'any del temporal Gloria (2020) es va trobar a l'estiu en tres punts (Teb1, Teb2 i B29), i en tots tres casos les abundàncies foren més elevades que a la primavera.

A la resta de punts estudiats el 2020 i el 2021, s'hi ha trobat l'espècie en tots els mostresos de primavera i també a l'estiu en alguns llocs, sempre amb abundàncies més baixes en la darrera època ([taula 4](#)).

**Gràfic 1. Evolució de *Baetis gr. alpinus* amb gràfics de barres que en mostren l'abundància (log + 1) per mostra a la primavera (barra verd fosc) i a l'estiu (barra verd clar) des del 2013 fins al 2021 als quatre punts de mostreig CARIMED del Montseny**



**Taula 4. Abundàncies (nombre d'individus per mostra) de *Baetis gr. alpinus* als punts de seguiment de les capçaleres del Montseny durant el 2020 i el 2021**

Torrent	2020		2021	
	Primavera	Estiu	Primavera	Estiu
Bessa	24	0	24	0
Rigròs	1	0	47	1
Passavets	10	2	63	6
Rentadors	29	0	58	0
Sant Marçal	26	12	26	1

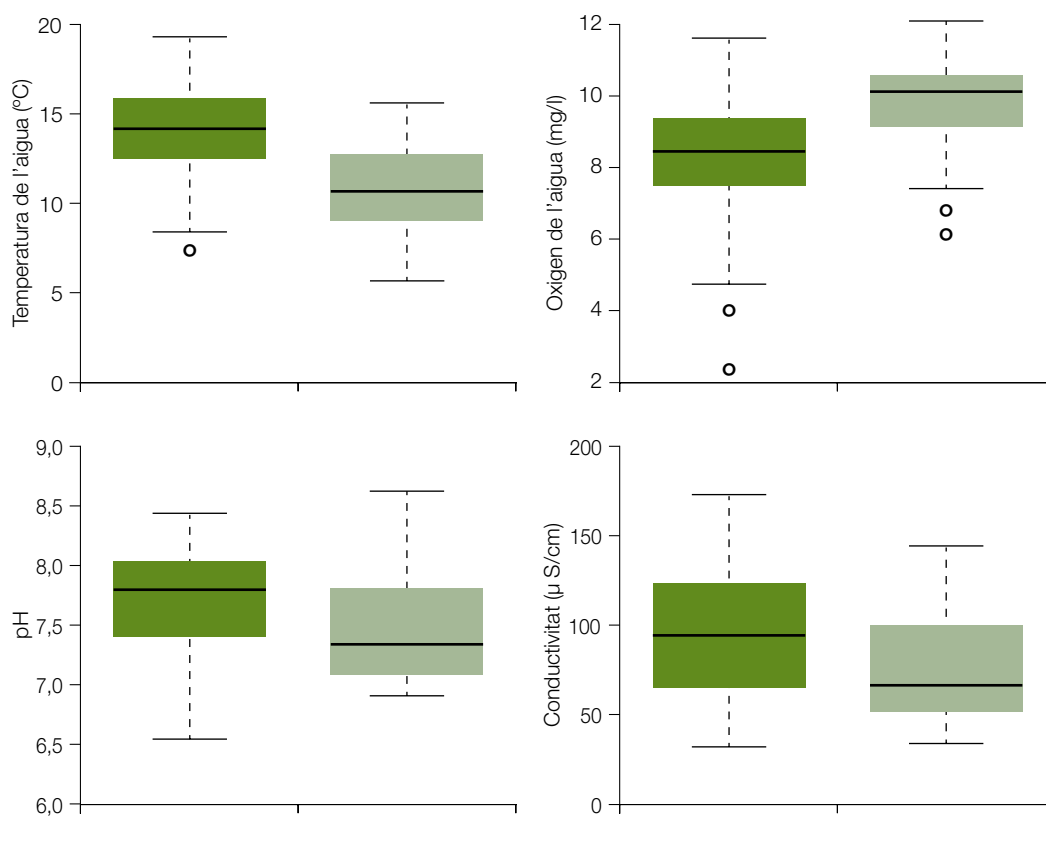
Amb l'anàlisi de variància, s'han trobat diferències en la presència o absència de *Baetis gr. alpinus* respecte a quasi totes les variables de les [taules 2 i 3](#), les més significatives de les quals són la temperatura de l'aigua ( $p > 0,001$ ) i l'oxigen ( $p > 0,001$ ). *Baetis gr. alpinus* apareix només quan l'aigua té temperatures menors de 15 °C i conté més oxigen dissolt (prop de 10 mg/l). Aquesta espècie sembla preferir pH més neutres que bàsics ( $p = 0,01$ ) i, menys significativament, conductivitats més baixes ( $p = 0,05$ ). Per contra, no s'han observat diferències significatives quant al cabal ( $p = 0,6$ ).

En estudiar si la presència de *Baetis gr. alpinus* es podia explicar amb els valors de precipitació estandarditzada o SPI, en cap cas no s'han obtingut diferències significatives, tot i que s'observa que quan l'espècie hi era present, els valors d'SPI eren majors en tots els casos. Els SPI que mostren més diferències quan l'espècie

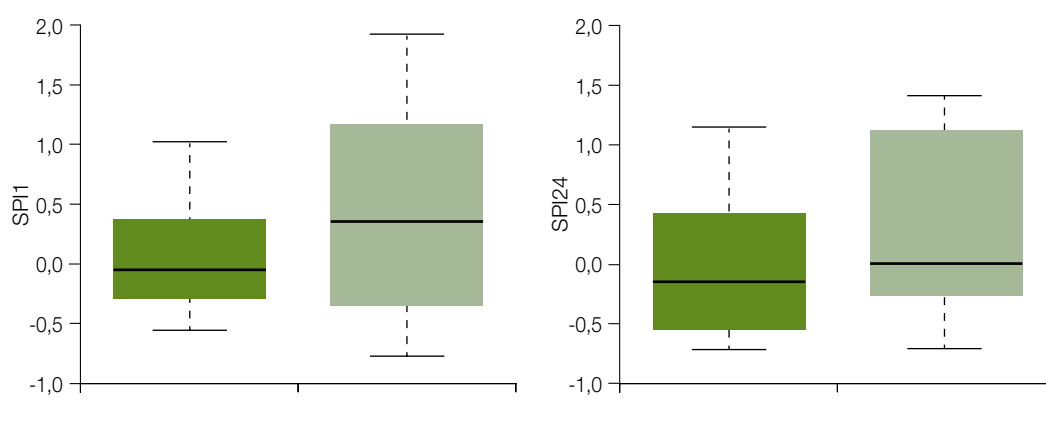


és present o no són l'SPI24 ( $p = 0,191$ ) i l'SPI1 ( $p = 0,327$ ), és a dir, el valor estandaritzat de la pluja dels darrers dos anys (24 mesos) i el de la pluja del mes en què es va fer el mostreig (gràfic 3).

**Gràfic 2. Gràfics Box-Plot dels valors de temperatura, oxigen (mg/l), pH i conductivitat (d'esquerra a dreta i de dalt a baix) dels mostrejors, separats en dos grups segons si *Baetis gr. alpinus* era absent (caixa verd fosc) o present (caixa verd clar) en la mostra recollida**

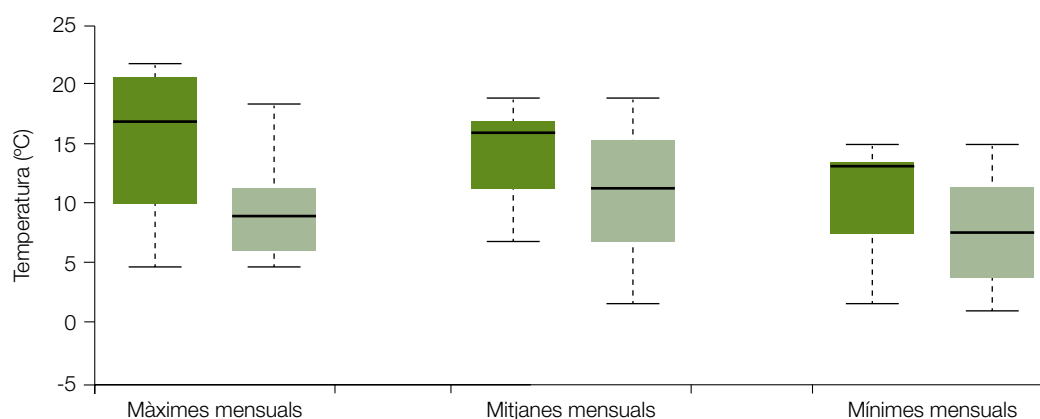


**Gràfic 3. Gràfics Box-Plot dels valors de l'SPI1 (esquerra) i l'SPI24 (dreta) dels mostrejors, separats en dos grups segons si *Baetis gr. alpinus* era absent (caixa verd fosc) o present (caixa verd clar) en la mostra recollida**



En canvi, sí que s'observen diferències significatives quan es fa el mateix exercici però amb la temperatura atmosfèrica (gràfic 4). Les temperatures que mostren una diferència més gran són la temperatura mensual mitjana ( $p > 0,001$ ), la temperatura mensual màxima mitjana ( $p > 0,001$ ) i la temperatura mínima mitjana ( $p > 0,001$ ). I també ho mostren les tres temperatures mitjanes del mes anterior (totes tres amb  $p > 0,001$ ).

**Gràfic 4. Gràfics Box-Plot dels valors de la temperatura mensual màxima mitjana, la temperatura mensual mitjana i la temperatura mensual mínima mitjana del mes en què es va fer el mostreig, separats en dos grups segons si *Baetis gr. alpinus* era absent (caixa verd fosc) o present (caixa verd clar) en la mostra recollida**



## Discussió i conclusions

*Baetis gr. alpinus* va disminuir la presència al Montseny durant els primers quatre anys del 2013 al 2016, que foren poc plujosos, i el 2017, un any especialment sec, no es va detectar en cap dels punts de mostreig estudiats. Això va fer pensar que l'espècie podia haver arribat al «punt crític» i haver desaparegut del Montseny. L'any 2018, que va ser un any molt més humit, l'espècie va tornar a aparèixer a la majoria de punts i s'hi ha mantingut fins al 2021, coincidint amb anys més humits i fins i tot extraordinàriament plujosos, com el 2020.

L'espècie es veu limitada, sobretot, per temperatures elevades de l'aigua, que poden comportar una concentració d'oxigen baixa. Aquestes dues variables estan relacionades clarament amb la quantitat d'aigua circulant, ja que si l'aigua escasseja (o queden només basses), sol augmentar de temperatura i l'oxigen hi sol disminuir (BONADA *et al.*, 2020). I és que aquesta espècie sembla que té tendència a aparèixer en èpoques més humides, sobretot tenint en compte la precipitació a llarg termini. La temperatura atmosfèrica també està relacionada clarament amb la presència d'aquesta espècie, i és que sol trobar millors condicions per a desenvolupar-se.

par-se a la primavera que a l'estiu, la qual cosa s'explicaria per les preferències ja esmentades d'aigües fredes i amb oxigen elevat.

Segons els resultats obtinguts, doncs, es pot concloure que *Baetis gr. alpinus* és efectivament una bona espècie sentinella del canvi climàtic al Montseny, ja que la seva distribució s'ajusta clarament a les condicions del medi aquàtic on es desenvolupa i aquestes estan influenciades per la precipitació i temperatura.

### **La importància de les dades a llarg termini**

Els resultats s'han obtingut gràcies al fet que es disposa de dades a mitjà i llarg termini de la fauna aquàtica i les variables ambientals. De totes maneres, els valors de les variables fisicoquímiques de l'aigua que s'han tingut en compte són dades puntuals recollides en el moment de fer els mostrejos, així que cal anar amb compte a l'hora de fer afirmacions sobre els factors ambientals que estan afectant la distribució espacial i temporal d'aquesta espècie. Per a poder disposar de resultats més consistents, es necessitarien dades amb més freqüència per a assegurar que aquests factors no arriben a punts crítics de temperatura o oxigen en algun moment del cicle anual de l'espècie.

Així doncs, es considera important esforçar-se més en el mostreig per a fer estudis més intensius en l'espai i extensius en el temps. Així és podran millorar les conclusions de la possible influència del canvi ambiental sobre les poblacions d'espècies pròpies de torrents i rius d'aigües fredes. En aquest sentit podria ser interessant caracteritzar la distribució de l'espècie en microhàbitat. Estudis previs han demostrat que hi poden haver diferències molt significatives en l'abundància de macroinvertebrats aquàtics en un mateix tram de riu, depenent, per exemple, de la superfície exposada de les pedres, que determina l'ovoposició dels insectes adults (LANCASTER *et al.*, 2020). També seria interessant caracteritzar els cicles de vida de les poblacions de *Baetis gr. alpinus*, que podrien variar amb el temps depenent de la temperatura de l'aigua (SAND i BRITAIN, 2009; LANZACO, 2016).

### **Hi ha perill de desaparició de l'espècie?**

El que encara continua sent una incògnita és com aquesta espècie es manté present al Montseny després dels primers cinc anys secs (2013-2017), quan semblava que havia desaparegut potser per no trobar-hi les condicions idònies de temperatura i nivell d'oxigen de l'aigua. Molt probablement, l'espècie no va desaparèixer del Montseny, malgrat que sí que sembla que hi va reduir la distribució, que devia passar a limitar-se a altres capçaleres amb condicions idònies per a les espècies no estudiades en aquell moment. La presència de rius en fondalades, per exemple, on les temperatures de l'estiu no pugen gaire, poden actuar com a refugi de l'espècie i permetre la recolonització d'altres rius i torrents en anys més favorables. És a dir, és possible que ens trobem davant un exemple de metapoblació a escala del Montseny,

que valdria la pena estudiar amb més detalls per a conèixer els refugis que l'espècie utilitza en anys desfavorables. És poc probable, tot i que no descartable, que arribin exemplars de poblacions més llunyanes amb condicions ambientals similars, com rius i torrents dels Pirineus. En l'estudi de MÚRRRIA *et al.* (2011) es va veure que les poblacions dels Pirineus eren diferents genèticament de les del Montseny, cosa que indica un flux genètic limitat. Caldria estudiar en detall l'existència de possibles poblacions que fessin de pont entre els Pirineus i el Montseny per a descartar-ho.

Tot i això, no es pot ser molt optimista al respecte a mitjà o llarg termini si es tenen en compte les prediccions de canvi climàtic amb un augment de la temperatura i una disminució de la precipitació, a les quals se suma una irregularitat climàtica més gran amb períodes secs més intensos i duradors i esdeveniments meteorològics dràstics més freqüents (IPCC, 2014).

### **Propostes de futur**

Com a conclusió, i per a poder saber quin és el futur de *Baetis gr. alpinus* i altres espècies amb una autoecologia similar, caldria estudiar de forma més detallada tant les poblacions actuals com les més properes. Per això es proposa:

- Continuar fent aquests estudis als rius i rieres del Montseny i, fins i tot, ampliar el nombre de punts d'estudi a més capçaleres.
- Fer un seguiment dels paràmetres fisicoquímics en continu en aquests punts d'estudi mitjançant la instal·lació de sensors enregistradors de dades.
- Estudiar si existeixen poblacions de *Baetis gr. alpinus* entre els Pirineus i el Montseny i elaborar estudis de variabilitat genètica.
- Elaborar estudis complementaris sobre els efectes de la temperatura en els cicles de vida de l'espècie amb experiments de laboratori (per exemple: NORDLIE i ARTHUR, 1981), i estudiar si hi ha altres factors que puguin estar afectant-los (per exemple, LANCASTER *et al.*, 2020; 2021).
- Estudiar altres possibles candidats a ser extingits del Montseny o d'altres parcs naturals degut als efectes del canvi ambiental.

### **Agraïments**

Les dades utilitzades per a fer aquest treball han estat generades gràcies al conveni «Seguiment del canvi ambiental de la xarxa fluvial de la província de Barcelona» (CAXF) entre el grup FEHM de la Universitat de Barcelona i la Gerència de Serveis d'Espais Naturals (Àrea d'Infraestructures i Espais Naturals) de la Diputació de Barcelona. Aquests estudis formen part del Programa de seguiment de la qualitat ecològica dels rius de Barcelona, que ha estat en actiu continuadament des del 1994. Hi ha més detalls a [www.ub.edu/barcelonarius](http://www.ub.edu/barcelonarius).

## Bibliografia

- BOADA, M.; PUJANTELL, J. A. (2020): «El massís del Montseny, paisatge sentinella». *Monografies del Montseny*, núm. 35; p. 59-72.
- BONADA, N.; CAÑEDO-ARGÜELLES, M.; GALLART, F.; VON SCHILLER, D.; FORTUÑO, P.; LATRON, J.; LLORENS, P.; MÚRRIA, C.; SORIA, M.; VINYOLES, D.; CID, N. (2020): «Conservation and Management of Isolated Pools in Temporary Rivers». *Water*, núm. 12(10); p. 2870.
- CONTI, L.; SCHMIDT-KLOIBER, A.; GRENOUILLET, G.; GRAF, W. (2014): «A trait-based approach to assess the vulnerability of European aquatic insects to climate change». *Hydrobiologia*, núm. 721(1); p. 297-315.
- DÖLL, P.; SCHMIED, H. M. (2012): «How is the impact of climate change on river flow regimes related to the impact on mean annual runoff? A global-scale analysis». *Environmental Research Letters*, núm. 7(1) 014037.
- DOMISCH, S.; ARAÚJO, M. B.; BONADA, N.; PAULS, S. U.; JÄHNIG, S. C.; HAASE, P. (2013): «Modelling distribution in European stream macroinvertebrates under future climates». *Global Change Biology*, núm. 19; p. 752-762.
- DE FIGUEROA, J. T.; LÓPEZ-RODRÍGUEZ, M. J.; LORENZ, A.; GRAF, W.; SCHMIDT-KLOIBER, A.; HERING, D. (2010): «Vulnerable taxa of European Plecoptera (Insecta) in the context of climate change». *Biodiversity and conservation*, núm. 19(5); p. 1269-1277.
- FILIFE, A. F.; LAWRENCE, J. E.; BONADA, N. (2013): «Vulnerability of stream biota to climate change in mediterranean climate regions: a synthesis of ecological responses and conservation challenges». *Hydrobiologia*, núm. 719; p. 331-351.
- FINN, D. S.; KHAMIS, K.; MILNER, A. M. (2013): «Loss of small glaciers will diminish beta diversity in Pyrenean streams at two levels of biological organization». *Global Ecology and Biogeography*, núm. 22; p. 40-51.
- FINN, D. S.; ZAMORA-MUÑOZ, C.; MÚRRIA, C.; SÁINZ-BARIÁIN, M.; ALBATERCEDOR, J. (2014): «Evidence from recently deglaciated mountain ranges that *Baetis alpinus* (Ephemeroptera) could lose significant genetic diversity as alpine glacier disappear». *Freshwater Science*, núm. 33; p. 207-216.
- FORTUÑO, P.; ACOSTA, R.; BONADA, N.; CID, N.; RODRÍGUEZ-LOZANO, P.; PRAT, N. (2018): «Les comunitats de macroinvertebrats aquàtics de dos torrents del Montseny com a cas d'estudi dels possibles efectes del canvi global». *IX Trobada d'Estudiosos del Montseny*. Barcelona: Diputació de Barcelona, p. 466-479.
- GLAZACZOW, A.; ORWIN, D.; BOGDZIEWICZ, M. (2016): «Increased temperature delays the late-season phenology of multivoltine insect». *Scientific reports*, núm. 6(1); p. 1-8.
- HICKLING, R.; ROY, D. B.; HILL, J. K.; THOMAS, C. D. (2005): «A northward shift of range margins in British Odonata». *Global Change Biology*, núm. 11(3); p. 502-506.

- IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. CORE WRITING TEAM, PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (ed.). Ginebra, Suïssa, 151 p.
- JÁIMEZ-CUÉLLAR, P.; VIVAS, S.; BONADA, N.; ROBLES, S.; MELLADO, A.; ÁLVAREZ, M.; AVILÉS, J.; CASAS, J.; ORTEGA, M.; PARDO, I.; PRAT, N.; RIERADEVALL, M.; SÁINZ-CANTERO, C. E.; SÁNCHEZ-ORTEGA, A.; SUÁREZ, M. L.; TORO, M.; VIDAL-ABARCA, M. R.; ZAMORA-MUÑOZ, C.; ALBA-TERCEDOR, J. (2002): «Protocolo GUADALMED (PRECE)». *Limnetica*, núm. 21(3-4); p. 187-204.
- JOURDAN, J.; O'HARA, R. B.; BOTTARIN, R.; HUTTUNEN, K. L.; KUEMMERLEN, M.; MONTEITH, D.; MUOTKA, T.; OZOLIŅŠ, D.; PAAVOLA, R.; PILOTTO, F.; SPRINGE, G.; SKUJA, A.; SUNDERMANN, A.; TONKIN, J. D.; HAASE, P. (2018): «Effects of changing climate on European stream invertebrate communities: A long-term data analysis». *Science of the Total Environment*, núm. 621; p. 588-599.
- LANCASTER, J.; DOWNES, B. J.; LESTER, R. E.; RICE, S. P. (2020): «Avoidance and aggregation create consistent egg distribution patterns of congeneric caddisflies across spatially variable oviposition landscapes». *Oecologia*, núm. 192(2); p. 375-389.
- LANCASTER, J.; RICE, S. P.; SLATER, L.; LESTER, R. E.; DOWNES, B. J. (2021): «Hydrological controls on oviposition habitat are associated with egg-laying phenology of some caddisflies». *Freshwater Biology*, núm. 66; p. 1311-1327.
- MONAGHAN, M. T.; SPAAK, P.; ROBINSON, C. T.; WARD, J. V. (2002): «Population genetics of 3 alpine stream insects: influences of gene flow, demographics, and habitat fragmentation». *Journal of North American Benthological Society*, núm. 21; p. 114-131.
- MUNNÉ, A.; PRAT, N. (2011): «Effects of Mediterranean climate annual variability on stream biological quality assessment using macroinvertebrate communities». *Ecological Indicators*, núm. 11(2); p. 651-662.
- MÚRRIA, C.; MORANTE, M.; RIERADEVALL, M.; RIBERA, C.; PRAT, N. (2014): «Genetic diversity and species richness patterns in Baetidae (Ephemeroptera) in the Montseny Mountain range (North-East Iberian Peninsula)». *Limnetica*, núm. 33(2); p. 313-326.
- NORDLIE, K. J.; ARTHUR, J. W. (1981): «Effect of elevated water temperature on insect emergence in outdoor experimental channels». *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, núm. 25(1); p. 53-65.
- OTERO, I.; BOADA, M.; BADIA, A.; PLA, E.; VAYREDA, J.; SABATÉ, S.; GRACIA, C. A.; PEÑUELAS, J. (2011): «Loss of water availability and stream biodiversity under land abandonment and climate change in a Mediterranean catchment (Olzinelles, NE Spain)». *Land Use Policy*, núm. 28(1); p. 207-218.
- PACE, G.; ACOSTA, R.; RIERADEVALL, M.; FORTUÑO, P.; PRAT, N. (2013): *Nimfes d'Efemeròpters dels rius Llobregat i Besòs. Guia d'identificació dels gèneres i de*



- les espècies més comunes*. Versió 2 - juliol 2014. Grup de recerca FEM. Universitat de Barcelona. 18 p. <<http://hdl.handle.net/2445/55523>>.
- PRAT, N.; FORTUÑO, P.; RIERADEVALL, M. (2014): «Canvis en la comunitat de macroinvertebrats i en la qualitat ecològica d'un torrent de muntanya del Parc Natural del Montseny. Importància de la variabilitat climàtica». *VIII Monografies del Montseny*. Barcelona: Diputació de Barcelona, p. 248-258.
- PUIG, M. À. (1983): *Efemerópteros y plecópteros de los ríos catalanes. Parte 1. Efemerópteros de los Ríos Catalanes*. Tesi doctotal. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- SAND, K.; BRITAIN, J. E. (2009): «Life cycle shifts in *Baetis rhodani* (Ephemeroptera) in the Norwegian mountains». *Aquatic Insects*, núm. 31(sup1); p. 283-291.
- SAUER, J.; DOMISCH, S.; NOWAK, C.; HAASE, P. (2011): «Low mountain ranges: summit traps for montane freshwater species under climate change». *Biodiversity and Conservation*, núm. 20; p. 3133-3146.
- THEODOROPOULOS, C.; KARAOUZAS, I. (2021): «Climate change and the future of Mediterranean freshwater macroinvertebrates: a model-based assessment». *Hydrobiologia*, núm. 848; p. 5033-5050.
- VICENTE-SERRANO, S. M.; TOMÁS-BURGUERA, M.; BEGUERÍA, S.; REIG-GRACIA, F.; LATORRE, B.; PEÑA-GALLARDO, M.; LUNA, Y.; MORATA, A.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C. (2017): «A High Resolution Dataset of Meteorological Drought Indices for Spain». *Data*, núm. 2(3):22; 10 p.