

## GEA, FLORA ET FAUNA

# Beure del fang: un estudi dels abeuradors de papallones a Catalunya

Clàudia Pla-Narbona\*, Andreu Ubach\*, Constantí Stefanescu\*

\* Museu de Ciències Naturals de Granollers. Grup de Recerca en Lepidòpters - Biodiversitat i Bioindicadors (BiBio). C/ Francesc Macià, 51. 08402 Granollers. A/e: [cplanarbona@mcng.cat](mailto:cplanarbona@mcng.cat)

Rebut: 21.02.2024; Acceptat: 23.05.2024; Publicat: 30.06.2024

## Resum

El *mud-puddling*, o beure del fang, és un comportament que tenen algunes papallones i altres insectes d'adquirir nutrients que es troben a tolls enfangats, marges de rieres, fruita podrida, excrements, carronya i, fins i tot, suor. Aquest comportament, que produeix un efecte crida que genera «abeuradors de papallones», ha estat molt estudiat en zones tropicals, mentre que en latituds temperades és poc conegut. El treball que es presenta és un estudi sobre aquest comportament en dues localitats de Catalunya, situades a la regió alpina i la regió mediterrània humida. Aquest treball combina censos de papallones diürnes en els abeuradors escollits amb dades del Programa de seguiment de papallones de Catalunya (CBMS) i l'ús de càmeres de fototrampeig durant l'estiu del 2022. En els censos s'han observat 1462 individus de 70 espècies, pertanyents sobretot als licènids i hespèrids. Hem detectat també que els licènids, hespèrids i pièrids prefereixen beure del fang i d'excrements, mentre que els nimfalins i satirins combinen beure del fang i d'exsudats d'arbres o flors. Els resultats també mostren que els mascles joves són els que més duen a terme aquest comportament, que hi ha un pic d'activitat a mig matí a totes dues localitats i que l'activitat augmenta amb la temperatura exceptuant temperatures extremes (38-40 °C). L'estudi destaca mancances de coneixement entorn a aquest comportament en latituds temperades que caldria tenir en compte en futurs treballs, com la funció dels abeuradors en períodes de sequera i la taxa de depredació que hi pateixen les papallones.

**Paraules clau:** Abeurador, *mud-puddling*, beure del fang, papallones diürnes, comportament, càmeres de fototrampeig, regió mediterrània, regió alpina, temperatura, precipitació, patró d'activitat.

## Abstract

### Mud-puddling: A study of butterfly puddling sites in Catalonia

Some butterflies and other insects acquire nutrients from puddles, stream banks, rotting fruit, carrion, excrement and even sweat. This behaviour, which is called *mud-puddling*, produces a calling effect generating butterfly clusters. It has been widely studied in tropical areas, however, there are still many gaps in knowledge in temperate latitudes. The work presented is a study of this behaviour in two locations in Catalonia, one in the Alpine region and another in the humid Mediterranean region. This work combines censuses of diurnal butterflies in the chosen puddles with data from the Catalan Butterfly Monitoring Scheme (CBMS) and the use of photo-trapping cameras, during the summer 2022. In the censuses, 1462 individuals of 70 species, mainly belonging to Lycaenidae and Hesperidae, have been observed. Also, Lycaenidae, Hesperidae and Pieridae prefer puddles and excrement, while Nymphalidae and Satyrinae combine puddles and flora exudates. Our results also show that the participants are mainly young males, that there is an activity peak between 12 a.m. and 2 p.m. in both localities and that butterflies' activity leaking from puddles increases with the temperature except for extreme temperatures (38-40 °C). The study highlights many gaps in knowledge related to this behaviour in temperate latitudes that should be taken into account in future works: such as puddles function in drought periods and predation rate suffered by butterflies.

**Key words:** Puddle, mud-puddling, butterflies, behaviour, photo-trapping cameras, Mediterranean region, Alpine region, temperature, precipitation, activity pattern.

## Introducció

En el context de canvi global actual i per a la conservació de les espècies, és necessari conèixer a fons aspectes de la seva ecologia que els són crucials per a la supervivència. En aquest sentit, l'estudi de la disponibilitat de recursos i com són usats en diferents ambients i regions climàtiques del territori és molt rellevant. Les papallones diürnes, concretament, poden veure limitada l'obtenció de recursos de nèctar i

d'altres tipus en condicions de sequera, una situació cada cop més freqüent a causa del canvi climàtic (Phillips et al. 2018).

El *mud-puddling*, o beure del fang, és el comportament que tenen algunes papallones, i altres insectes, d'adquirir nutrients que es troben a tolls enfangats, marges de rieres, fruita podrida, excrements, carronya i, fins i tot, suor (Molleman 2010). Aquest comportament produeix un efecte crida que provoca que en algunes zones es formin agrupacions d'individus, de vegades força nombroses, anomenades



Figura 1. Abeurador de papallones, Catllar 2022. Autoria: Clàudia Pla-Narbona.

«abeuradors de papallones» (Fig. 1). Aquestes agrupacions, quan estan formades per dos o més individus de la mateixa espècie, s'anomenen gremis (Prokopy & Roitberg 2001). Les primeres observacions d'abeuradors de papallones van ser publicades el 1863 per Henry W. Bates a l'Amazònia, però no va ser fins més d'un segle més tard que es va dur a terme el primer experiment per estudiar-los (Arms *et al.* 1974).

Des d'aleshores, diferents estudis coincideixen en què són els mascles joves els que mostren més aquest comportament, tot i que també s'ha observat en individus vells i, més ocasionalment, en femelles (Boggs & Jackson 1991). També coincideixen en què el principal objectiu del *mud-puddling* que duen a terme els mascles és obtenir sals minerals i aminoàcids, escassos en les plantes i el nèctar de què s'alimenten les erugues i les papallones adultes, respectivament. Aquests seran després transmesos a les femelles en el moment de la còpula en forma de regal nupcial, i així augmentaran la seva fertilitat i longevitat (Pivnick & McNeil 1987). Aquest comportament és molt típic a les zones tropicals, on és comú trobar grans concentracions d'algunes espècies de papallones a les ribes dels rius, també en fonts geotermals (Phon *et al.* 2017) o inclús en platges (Tea *et al.* 2020). A regions temperades i àrides és un fenomen habitual però menys estudiat. A Catalunya, en particular, és molt notori als ambients pirinencs. A banda dels abeuradors de fang, a casa nostra també s'han observat individus bevent d'excrements, fruita madura i exsudats d'arbres o flors. La preferència per cada substrat varia segons la família i l'espècie (Vila, Stefanescu & Sesma 2018). Resten, però, molts buits de coneixement respecte l'ecologia d'aquest comportament, com per exemple quins costos ecològics té (p. ex. risc de predació), per quin motiu hi ha espècies que ho fan amb més freqüència que d'altres, perquè algunes espècies no ho fan mai o perquè les preferències de substrat i la tendència a formar gremis varien entre famílies i entre espècies. A més, tot i que s'ha suggerit que el *mud-puddling* en les regions àrides podria haver sorgit de la necessitat d'obtenir aigua (Adler & Pearson 1982), es desconeix si la tendència a exercir aquest comportament incrementa en episodis severos de sequera.

Per aprofundir en aspectes poc coneguts d'aquest comportament, hem dut a terme un estudi de les comunitats de papallones que trobem en abeuradors a dos punts del territori català. Els objectius del treball són, per una banda, estudiar la composició i demografia de les comunitats de papallones que beuen del fang en latituds temperades i, per una altra, observar com les condicions climàtiques afecten l'activitat en els abeuradors de papallones. Les nostres hipòtesis en relació amb aquests objectius són: (1) tal com passa a les regions tropicals, la majoria d'individus que beuen del fang a la regió temperada són mascles joves (Boggs & Jackson 1991); i (2) la temperatura i la precipitació tenen un paper rellevant a l'hora de regular aquesta activitat: esperem una major activitat a majors temperatures i, pel que fa a la precipitació, entenent les diferències en la disponibilitat d'aigua entre regions, esperem més activitat just després de la precipitació a la regió més seca degut a una major disponibilitat d'aigua als abeuradors, mentre que a les regions alpines, just després de la precipitació, esperem menys activitat per la creació espontània de més abeuradors que provocarà un efecte de dilució al nostre abeurador d'estudi.

## Material i mètodes

### Localitats d'estudi

Per a poder obtenir dades d'activitat bevent del fang i relacionar-les amb diferents condicions ambientals hem seleccionat dues localitats on hi ha estacions del programa Catalan Butterfly Monitoring Scheme (CBMS; [www.catalanbms.org](http://www.catalanbms.org)), per a les quals disposem d'informació molt completa sobre les comunitats de papallones, i que estan situades en dues regions climàtiques diferents. Les localitats són: (1) Gerri de la Sal (CBMS-85, Pallars Sobirà), situada al Prepirineu a 593 m d'altitud en un ambient que correspon a la regió climàtica mediterrània humida, on es realitza un seguiment de papallones des de l'any 2006 en un transecte de 1468 m; i (2) Capçaleres del Catllar (CBMS-181, Ripollès), al Pirineu, a 1502 m d'altitud, en un ambient que correspon a la regió climàtica alpina, on s'hi fan censos des del 2020 en un transecte de 1492 m (Fig. 2). La delimitació de les regions

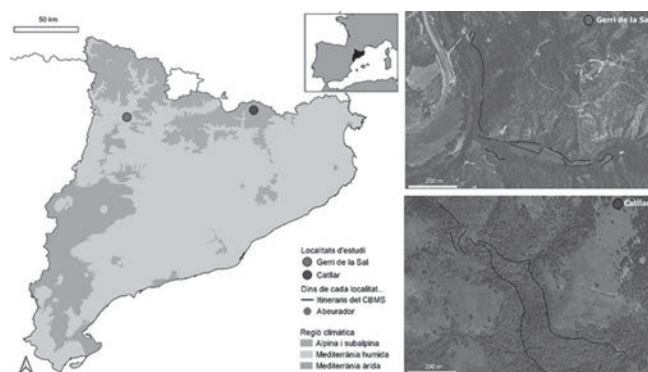


Figura 2. Mapa de Catalunya amb les regions climàtiques utilitzades per a l'estudi i les localitats d'estudi. A la dreta, el recorregut de cadascun dels itineraris CBMS dins de les localitats d'estudi i la ubicació exacta de l'abeurador on s'ha fet l'estudi.

climàtiques s'ha fet a partir del nombre d'hores per any en què se supera la temperatura de 21 °C (21DDG), seguint un criteri (regió alpina i subalpina:  $\leq 0$ -150 DDG; regió mediterrània humida: 150-400 DDG; regió mediterrània àrida:  $\geq 400$  DDG) i usant les dades proporcionades pel Servei Meteorològic de Catalunya ([www.meteocat.cat](http://www.meteocat.cat)). Aquestes regions es corresponen amb força exactitud amb les regions bioclimàtiques definides per Metzguer *et al.* (2013).

En aquestes estacions s'hi duen a terme comptatges de papallones seguint la metodologia BMS (Pollard & Yates 1993), la qual parteix de recomptes visuals d'exemplars adults de papallones diürnes al llarg d'un transecte en què es compten les papallones que estan a una distància de 5 m per davant i als costats de l'observador. El transecte consta de diverses seccions corresponents a hàbitats diferents i es recorre un cop per setmana, de l'1 de març al 30 de setembre, a una velocitat constant.

En cadascuna de les estacions s'han detectat zones propícies per al comportament objecte d'estudi a partir de l'observació de concentracions regulars de papallones bevent del fang en diferents anys. En tots dos casos són marges d'un riu que transcorre a través de l'itinerari. La zona d'estudi en ambdós casos ha estat una parcel·la (o abeurador) d'entre 3 i 5 m<sup>2</sup> de sòl nu, amb predomini de pedres i fang.

### Treball de camp: censos de papallones bevent del fang

Per tal d'estudiar la comunitat de papallones de cada localitat, s'han realitzat censos en els abeuradors de cada localitat entre el 9 de juny i el 24 d'agost de 2022 al Catllar, i entre el 10 de juny i el 25 d'agost de 2022 a Gerri de la Sal. Els censos es van fer entre les 10 i 16 h, coincidint amb el període de màxima activitat de papallones, cada 15 dies aproximadament, amb un total de sis censos per localitat. Cada cens es va dividir en quatre mostrejos de 15 minuts, cada dues hores, per tal de recollir els canvis d'abundància i riquesa al llarg del dia. A cada mostreig es van anotar les condicions climàtiques, el nombre d'individus que visitaven l'abeurador, la seva espècie, el seu sexe (femella, mascle o indeterminat), el desgast alar com a aproximació de l'edat (adults nous o E1, adults intermedis o E2, i adults gastats o E3) i quins formaven gremis, entenent per gremi les agrupacions de dos o més individus dins de l'abeurador, ja siguin de la mateixa o de diferents espècies.

### Treball de camp: registres d'abundància a partir del fototrampeig

A cada localitat es va instal·lar una càmera de fototrampeig model scout guard sentinel II 20 MP, marca ARCEA, enfocant l'abeurador i disparant fotografies amb una freqüència de 30 minuts, durant el període de temps que van durar els censos (12 setmanes). Posteriorment, les imatges obtingudes s'han analitzat manualment anotant l'abundància de papallones de cada imatge juntament amb la localitat, data, hora, nuvolositat i presència d'altres animals o persones. La identificació de les espècies no ha estat possible en la majoria de casos però sí l'abundància d'individus com a aproximació a l'activitat de l'abeurador.

Les dades d'activitat obtingudes ens han servit per interpretar els patrons d'activitat estacional i diària. Hem definit 19 franges horàries, de 30 minuts cadascuna, de 9:00 a 18:00. Per definir aquests patrons hem eliminat els comptatges de les imatges en què no hi havia sol, ja que l'activitat de les papallones disminueix ostensiblement en aquest cas. Pel mateix motiu, hem eliminat aquelles dades en què hi havia altres animals o en què es van fer mostrejos, ja que poden haver fet variar l'activitat a l'abeurador.

### Dades climàtiques

Inicialment vam decidir enregistrar la temperatura amb sensors iButton instal·lats en llocs ombrívols a prop de la càmera, però el de Gerri de la Sal el vam perdre i el del Catllar va quedar sense memòria a la meitat del mostreig (setmana 7). Si bé és cert que les càmeres de fototrampeig registren la temperatura juntament amb la imatge, les mateixes càmeres marquen una temperatura molt més alta que la real a degut al sobreescalfament causat pel sol i per la pròpia càmera. Així doncs, davant la manca de dades completes dels sensors de temperatura, hem hagut d'utilitzar altres fonts d'informació meteorològica.

D'entre les estacions meteorològiques més properes, s'han establert correlacions de Pearson per determinar la més fiable d'acord amb els registres obtinguts per les càmeres de fototrampeig, i també l'iButton en el cas del Catllar, i s'han escollit les que tenien un valor més alt de correlació. Per al cas de Gerri de la Sal, hem seleccionat l'estació meteorològica automàtica ([www.meteo.cat](http://www.meteo.cat)) de la Pobla de Segur ( $r = 0.644$ ,  $n = 1413$ ,  $p$ -valor  $< 2e^{-16}$ ), que és a 10 km de l'abeurador i, per al cas del Catllar, l'estació local de la vall del Catllar ( $r = 0.872$ ,  $n = 641$ ,  $p$ -valor  $< 2e^{-16}$  per la sèrie incompleta de dades de l'iButton i  $r = 0.902$ ,  $n = 1413$ ,  $p$ -valor  $< 2e^{-16}$  per les dades de la càmera), que es troba a menys d'1 km de l'abeurador. A banda de la temperatura, aquestes estacions meteorològiques també ens aporten dades de precipitació per a les dues localitats (PPT, en mm).

### Anàlisi de dades

Per tipificar i comparar les comunitats de papallones associades als dos abeuradors estudiats s'han utilitzat les dades dels censos directes. Hem calculat l'abundància i la riquesa de cada localitat i hem testat si hi ha diferències a partir d'una anàlisi ANOVA. També, per a cada localitat, hem elaborat testos U-Mann Whitney per comprovar si les espècies més comunes a la zona (segons dades del CBMS a cada localitat) són també les més abundants als abeuradors. Això ens ha permès avaluar quines espècies són més propenses a beure del fang i quines, contràriament, no mostren aquest tipus de comportament. Aquesta comparativa s'ha fet restringint les dades dels censos del CBMS al període juny-agost del 2022 dels itineraris CBMS-85 i CBMS-181, i eliminant les dades de la secció on hi ha l'abeurador per evitar pseudoreplicació.

Per tal d'analitzar les diferències entre sexes i edat hem fet un model lineal generalitzat mixt (GLMM) en què la variable resposta era el nombre d'individus, els factors fixos el sexe,

Taula 1. Llista de papallones que beuen del fang en les dues localitats mostrejades. Els percentatges de sexes (mascle (M), femella (F) o indeterminat (indet.)), i els estats alars (joves (E1), entremig (E2) i vells (E3)), estan calculats sense distingir entre localitats. Les famílies o subfamílies diferenciades són els hespèrids (HES), libiteíns, (LIB), licènids (LYC), nimfalins (NYM), pièrids (PIE), papiliònids (PAP) i satirins (SAT).

|    | Especie                       | Família | Núm indiv<br>Catllar | Núm indiv<br>Gerri | Total | Sexe |      |         | Estat alar |      |      |
|----|-------------------------------|---------|----------------------|--------------------|-------|------|------|---------|------------|------|------|
|    |                               |         |                      |                    |       | % M  | % F  | % indet | % E1       | % E2 | % E3 |
| 1  | <i>Aglais io</i>              | NYM     | 0                    | 3                  | 3     | 0    | 0    | 100     | 100        | 0    | 0    |
| 2  | <i>Apatura ilia</i>           | NYM     | 0                    | 5                  | 5     | 60   | 0    | 40      | 40         | 60   | 0    |
| 3  | <i>Apatura iris</i>           | NYM     | 1                    | 0                  | 1     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 4  | <i>Aphantopus hyperantus</i>  | SAT     | 1                    | 0                  | 1     | 0    | 0    | 100     | 0          | 0    | 100  |
| 5  | <i>Arethusana arethusa</i>    | SAT     | 0                    | 1                  | 1     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 6  | <i>Argynnis adippe</i>        | NYM     | 0                    | 2                  | 2     | 100  | 0    | 0       | 50         | 50   | 0    |
| 7  | <i>Argynnis aglaja</i>        | NYM     | 5                    | 3                  | 8     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 8  | <i>Argynnis paphia</i>        | NYM     | 0                    | 1                  | 1     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
|    | <i>Argynnis sp</i>            |         | 0                    | 1                  | 1     | 0    | 0    | 100     | 100        | 0    | 0    |
| 9  | <i>Aricia agestis</i>         | LYC     | 56                   | 1                  | 57    | 24.6 | 0    | 75.4    | 84         | 10   | 6    |
| 10 | <i>Boloria dia</i>            | NYM     | 2                    | 7                  | 9     | 11.1 | 22.2 | 66.7    | 50         | 50   | 0    |
| 11 | <i>Brenthis daphne</i>        | NYM     | 0                    | 1                  | 1     | 0    | 0    | 100     | 100        | 0    | 0    |
| 12 | <i>Carcharodus alceae</i>     | HES     | 3                    | 2                  | 5     | 80   | 0    | 20      | 50         | 50   | 0    |
| 13 | <i>Carcharodus lavatherae</i> | HES     | 8                    | 0                  | 8     | 62.5 | 0    | 37.5    | 80         | 20   | 0    |
| 14 | <i>Celastrina argiolus</i>    | LYC     | 2                    | 0                  | 2     | 100  | 0    | 0       | 50         | 50   | 0    |
| 15 | <i>Coenonympha arcania</i>    | SAT     | 3                    | 11                 | 14    | 14.3 | 7.1  | 78.6    | 69.2       | 23.1 | 7.7  |
| 16 | <i>Coenonympha dorus</i>      | SAT     | 0                    | 8                  | 8     | 25   | 12.5 | 62.5    | 75         | 12.5 | 12.5 |
| 17 | <i>Cupido alcetas</i>         | LYC     | 0                    | 1                  | 1     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 18 | <i>Cupido argiades</i>        | LYC     | 0                    | 2                  | 2     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 19 | <i>Cupido minimus</i>         | LYC     | 166                  | 0                  | 166   | 0.6  | 0    | 99.4    | 78.6       | 20   | 1.4  |
| 20 | <i>Cupido osiris</i>          | LYC     | 0                    | 5                  | 5     | 100  | 0    | 0       | 50         | 25   | 25   |
| 21 | <i>Cyaniris semiargus</i>     | LYC     | 19                   | 1                  | 20    | 95   | 0    | 5       | 66.7       | 27.8 | 5.6  |
| 22 | <i>Erebia meolans</i>         | SAT     | 2                    | 0                  | 2     | 0    | 100  | 0       | 0          | 50   | 50   |
|    | <i>Erebia sp</i>              |         | 1                    | 0                  | 1     | 0    | 0    | 100     | 100        | 0    | 0    |
| 23 | <i>Erynnis tages</i>          | HES     | 2                    | 0                  | 2     | 100  | 0    | 0       | 0          | 100  | 0    |
| 24 | <i>Favonius quercus</i>       | LYC     | 0                    | 1                  | 1     | 0    | 0    | 100     | 0          | 0    | 0    |
| 25 | <i>Gonepteryx cleopatra</i>   | PIE     | 1                    | 1                  | 2     | 100  | 0    | 0       | 50         | 50   | 0    |
| 26 | <i>Gonepteryx sp</i>          | PIE     | 0                    | 2                  | 2     | 0    | 100  | 0       | 50         | 50   | 0    |
| 27 | <i>Hesperia comma</i>         | HES     | 6                    | 13                 | 19    | 100  | 0    | 0       | 94.7       | 5.3  | 0    |
| 28 | <i>Hipparchia fidia</i>       | SAT     | 0                    | 3                  | 3     | 33.3 | 0    | 66.7    | 100        | 0    | 0    |
| 29 | <i>Hipparchia hermione</i>    | SAT     | 0                    | 9                  | 9     | 66.7 | 0    | 33.3    | 33.3       | 66.7 | 0    |
| 30 | <i>Iphiclide feisthamelii</i> | PAP     | 0                    | 6                  | 6     | 50   | 33.3 | 16.7    | 50         | 50   | 0    |
| 31 | <i>Issoria lathonia</i>       | NYM     | 1                    | 0                  | 1     | 0    | 0    | 100     | 100        | 0    | 0    |
| 32 | <i>Lampides boeticus</i>      | LYC     | 0                    | 1                  | 1     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 33 | <i>Leptidea reali</i>         | PIE     | 21                   | 0                  | 21    | 71.4 | 0    | 28.6    | 89.5       | 10.5 | 0    |
| 34 | <i>Leptidea sinapis</i>       | LYC     | 0                    | 6                  | 6     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 35 | <i>Leptotes pirithous</i>     | LYC     | 1                    | 2                  | 3     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 36 | <i>Libythea celtis</i>        | LIB     | 0                    | 8                  | 8     | 12.5 | 0    | 87.5    | 75         | 25   | 0    |
| 37 | <i>Limenitis reducta</i>      | NYM     | 0                    | 14                 | 14    | 50   | 0    | 50      | 46.2       | 46.2 | 7.7  |
| 38 | <i>Lycæna virgaureae</i>      | LYC     | 1                    | 0                  | 1     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 39 | <i>Lysandra bellargus</i>     | LYC     | 97                   | 17                 | 114   | 64   | 0    | 36      | 78.1       | 20.5 | 1.4  |
| 40 | <i>Lysandra coridon</i>       | LYC     | 125                  | 155                | 280   | 98.9 | 0.4  | 0.7     | 67.3       | 27.2 | 5.5  |
| 41 | <i>Maniola jurtina</i>        | SAT     | 2                    | 0                  | 2     | 50   | 0    | 50      | 50         | 50   | 0    |
| 42 | <i>Melanargia lachesis</i>    | SAT     | 0                    | 3                  | 3     | 100  | 0    | 0       | 0          | 100  | 0    |
| 43 | <i>Melitæa deione</i>         | NYM     | 4                    | 0                  | 4     | 100  | 0    | 0       | 25         | 75   | 0    |
| 44 | <i>Melitæa diamina</i>        | NYM     | 25                   | 1                  | 26    | 92.3 | 0    | 7.7     | 73.1       | 23.1 | 3.8  |
| 45 | <i>Melitæa nevadensis</i>     | NYM     | 19                   | 0                  | 19    | 73.7 | 15.8 | 10.5    | 47.1       | 41.2 | 11.8 |
| 46 | <i>Melitæa parthenoides</i>   | NYM     | 29                   | 1                  | 30    | 90   | 6.7  | 3.3     | 60         | 36.7 | 3.3  |
| 47 | <i>Melitæa phoebe</i>         | NYM     | 0                    | 2                  | 2     | 50   | 0    | 50      | 100        | 0    | 0    |
|    | <i>Melitæa sp</i>             |         | 48                   | 3                  | 51    | 23.5 | 0    | 76.5    | 71.4       | 28.6 | 0    |
| 48 | <i>Nymphalis polychloros</i>  | NYM     | 0                    | 4                  | 4     | 0    | 0    | 100     | 100        | 0    | 0    |
| 49 | <i>Papilio machaon</i>        | PAP     | 0                    | 2                  | 2     | 0    | 0    | 100     | 100        | 0    | 0    |
| 50 | <i>Pieris ergane</i>          | PIE     | 0                    | 10                 | 10    | 100  | 0    | 0       | 62.5       | 37.5 | 0    |
| 51 | <i>Pieris napi</i>            | PIE     | 0                    | 2                  | 2     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 52 | <i>Pieris rapae</i>           | PIE     | 5                    | 1                  | 6     | 83.3 | 0    | 16.7    | 60         | 40   | 0    |
| 53 | <i>Plebejus argus</i>         | LYC     | 6                    | 28                 | 34    | 100  | 0    | 0       | 90         | 10   | 0    |
| 54 | <i>Polygonia c-album</i>      | NYM     | 4                    | 4                  | 8     | 12.5 | 0    | 87.5    | 83.3       | 0    | 16.7 |
| 55 | <i>Polyommatus amandus</i>    | LYC     | 0                    | 3                  | 3     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 56 | <i>Polyommatus damon</i>      | LYC     | 0                    | 2                  | 2     | 100  | 0    | 0       | 100        | 0    | 0    |
| 57 | <i>Polyommatus dorylas</i>    | LYC     | 8                    | 0                  | 8     | 100  | 0    | 0       | 85.7       | 14.3 | 0    |
| 58 | <i>Polyommatus escheri</i>    | LYC     | 15                   | 44                 | 59    | 88.1 | 1.7  | 10.2    | 74.5       | 19.6 | 5.9  |
| 59 | <i>Polyommatus icarus</i>     | LYC     | 17                   | 15                 | 32    | 78.1 | 6.3  | 15.6    | 53.8       | 19.2 | 26.9 |
| 60 | <i>Polyommatus thersites</i>  | LYC     | 0                    | 1                  | 1     | 100  | 0    | 0       | 0          | 100  | 0    |
| 61 | <i>Pyrgus alveus</i>          | HES     | 15                   | 0                  | 15    | 100  | 0    | 0       | 93.3       | 6.7  | 0    |
| 62 | <i>Pyrgus carthami</i>        | HES     | 0                    | 87                 | 87    | 34.5 | 0    | 65.5    | 78.3       | 21.7 | 0    |
| 63 | <i>Pyrgus malvoides</i>       | HES     | 4                    | 4                  | 8     | 75   | 0    | 25      | 62.5       | 37.5 | 0    |
| 64 | <i>Pyrgus serratulae</i>      | HES     | 18                   | 0                  | 18    | 77.8 | 0    | 22.2    | 85.7       | 14.3 | 0    |
|    | <i>Pyrgus sp.</i>             |         | 32                   | 106                | 138   | 65.9 | 0    | 34.1    | 67.6       | 32.4 | 0    |
| 65 | <i>Pyronia bathseba</i>       | SAT     | 0                    | 2                  | 2     | 0    | 0    | 100     | 100        | 0    | 0    |
| 66 | <i>Pyronia tithonus</i>       | SAT     | 1                    | 6                  | 7     | 71.4 | 14.3 | 14.3    | 57.1       | 28.6 | 14.3 |
| 67 | <i>Satyrus esculi/ilicis</i>  | LYC     | 0                    | 5                  | 5     | 0    | 0    | 100     | 100        | 0    | 0    |
| 68 | <i>Thymelicus sylvestris</i>  | HES     | 33                   | 11                 | 44    | 72.7 | 0    | 27.3    | 91.4       | 8.6  | 0    |
| 69 | <i>Vanessa atalanta</i>       | NYM     | 8                    | 3                  | 11    | 45.5 | 0    | 54.5    | 81.8       | 18.2 | 0    |
| 70 | <i>Vanessa cardui</i>         | NYM     | 2                    | 0                  | 2     | 0    | 0    | 100     | 0          | 0    | 100  |

l'estat alar i la seva interacció, i el factor aleatori l'espècie, per tal de controlar el biaix que es produeix entre els individus de cada espècie. S'ha realitzat un model per a cada localitat per tal de reduir la complexitat del model.

La influència de les variables ambientals (meteorològiques i horàries) s'ha estudiat amb les dades d'abundància proporcionades per les càmeres de fototrampeig, a partir de models GLMM. En aquests models, el període temporal que explica la variació en l'abundància de papallones al llarg de la temporada, és a dir la fenologia, s'ha considerat com un factor aleatori. En cada localitat, s'ha ajustat un model GAM a la corba d'abundància del total de les espècies detectades i s'han identificat tres períodes que reflecteixen moments fenològics amb màximes abundàncies de papallones.

Hem dut a terme dos models GLMM: (1) En un primer model hem analitzat els patrons d'activitat en funció de la franja horària i de la temperatura, utilitzant com a variable resposta l'abundància d'individus observada a les fotos de fototrampeig, com a variables predictives la franja horària (1-19), el valor quadràtic de la franja horària, la temperatura, la localitat i la interacció d'aquestes dues últimes variables, i com a factor aleatori el període fenològic. (2) En un segon model hem analitzat com es veu afectada l'activitat diària als abeuradors en funció de la temperatura i la precipitació recent. En aquest model la variable resposta ha estat la màxima abundància enregistrada en un cens diari, les variables predictives la temperatura màxima del dia, la precipitació acumulada (PPT) del mateix dia, la PPT del dia anterior i la localitat, i com a factor aleatori el període fenològic. Per a tots dos models s'han fet servir les dades d'abundància del 10 de juny al 24 d'agost en el cas del Catllar, i del 28 de juny al 25 d'agost en el cas de Gerri de la Sal, i s'han redimensionat els valors de les variables.

L'anàlisi de les dades s'ha realitzat amb R versió 4.3.1. (R Core Team, 2023). S'han utilitzat la funció *aov* del paquet *stats* per a l'anàlisi ANOVA, el paquet *mgcv* (Wood, 2021) per a l'anàlisi GAM, el paquet *lme4* (Bates, 2023) per a l'anàlisi GLMM, la funció *cor* del paquet *stats* per calcular les correlacions entre les diferents variables i el paquet *ggplot2* (Wickham, 2023) per a l'elaboració de gràfics.

## Resultats i discussió

### Les comunitats de papallones que beuen del fang

#### Visió general

En els sis censos fets durant els mesos de juny, juliol i agost a les localitats del Catllar (regió alpina) i Gerri de la Sal (regió mediterrània humida) hem enregistrat 1462 individus de 70 espècies diferents bevent del fang. Al Catllar hem observat 819 individus i a Gerri de la Sal 643 individus, que corresponen a un 61 % (39 espècies) i un 78 % (53 espècies) de les espècies presents a la zona segons dades del CBMS en el mateix període de temps, respectivament (Taula 1). No hi ha diferències significatives pel que fa a l'abundància ( $n = 509$ ,  $p$ -valor = 0.231) ni la riquesa ( $n = 12$ ,  $p$ -valor = 1) entre les dues regions climàtiques segons les dades dels censos, però sí que s'ha observat una major activitat a la regió alpina

Taula 2. Llista d'espècies de la comunitat de papallones de l'estació del CBMS amb les seves abundàncies calculades fent la mitjana de juny a agost del 2022, i llista d'espècies censades a l'abeurador de la localitat amb la seva abundància en el mateix període a l'Estació CBMS-181, Catllar. Les famílies o subfamílies diferenciades són els LYC: licènids; NYM: nimfàlids; PIE: pièrids; SAT: satúrids; HES: hespèrids; PAP: papilioníds.

| Espècie                                                          | Família | Abu. cens abeuradors | Abu. CBMS-181 |
|------------------------------------------------------------------|---------|----------------------|---------------|
| <i>Carcharodus alceae</i>                                        | HES     | 3                    | 0             |
| <i>Carcharodus floccifera</i>                                    | HES     | 0                    | 2             |
| <i>Carcharodus lavatherae</i>                                    | HES     | 8                    | 2             |
| <i>Erynnis tages</i>                                             | HES     | 2                    | 1.5           |
| <i>Hesperia comma</i>                                            | HES     | 6                    | 4             |
| <i>Ochlodes sylvanus</i>                                         | HES     | 0                    | 28            |
| <i>Pyrgus alveus</i>                                             | HES     | 15                   | 8             |
| <i>Pyrgus</i> sp. ( <i>P. malvoides</i> i <i>P. serratulae</i> ) | HES     | 54                   | 64            |
| <i>Thymelicus lineola</i>                                        | HES     | 0                    | 2             |
| <i>Thymelicus sylvestris</i>                                     | HES     | 33                   | 156           |
| <i>Aricia agestis</i>                                            | LYC     | 56                   | 18            |
| <i>Callophrys rubi</i>                                           | LYC     | 0                    | 8.5           |
| <i>Celastrina argiolus</i>                                       | LYC     | 2                    | 4             |
| <i>Cupido minimus</i>                                            | LYC     | 166                  | 41.5          |
| <i>Cyaniris semiargus</i>                                        | LYC     | 19                   | 16            |
| <i>Leptotes pirithous</i>                                        | LYC     | 1                    | 0             |
| <i>Lycaena phlaeas</i>                                           | LYC     | 0                    | 9.5           |
| <i>Lycaena tityrus</i>                                           | LYC     | 0                    | 1.5           |
| <i>Lycaena virgaurea</i>                                         | LYC     | 1                    | 100           |
| <i>Lysandra bellargus</i>                                        | LYC     | 97                   | 49.5          |
| <i>Lysandra coridon</i>                                          | LYC     | 125                  | 133           |
| <i>Lysandra</i> sp.                                              | LYC     | 0                    | 2             |
| <i>Plebejus argus</i>                                            | LYC     | 6                    | 0             |
| <i>Polyommatus amandus</i>                                       | LYC     | 0                    | 2             |
| <i>Polyommatus dorylas</i>                                       | LYC     | 8                    | 10            |
| <i>Polyommatus escheri</i>                                       | LYC     | 15                   | 12            |
| <i>Polyommatus icarus</i>                                        | LYC     | 17                   | 10            |
| <i>Aglaia io</i>                                                 | NYM     | 0                    | 2             |
| <i>Aglaia urticae</i>                                            | NYM     | 0                    | 10.5          |
| <i>Apatura iris</i>                                              | NYM     | 1                    | 2             |
| <i>Argynnis aglaja</i>                                           | NYM     | 5                    | 36            |
| <i>Argynnis paphia</i>                                           | NYM     | 0                    | 194           |
| <i>Boloria dia</i>                                               | NYM     | 2                    | 10.5          |
| <i>Boloria euphrosyne</i>                                        | NYM     | 0                    | 10            |
| <i>Brenthis daphne</i>                                           | NYM     | 0                    | 2             |
| <i>Brenthis ino</i>                                              | NYM     | 0                    | 2             |
| <i>Issoria lathonia</i>                                          | NYM     | 1                    | 23            |
| <i>Limenitis camilla</i>                                         | NYM     | 0                    | 16            |
| <i>Limenitis reducta</i>                                         | NYM     | 0                    | 2             |
| <i>Melitaea cinxia</i>                                           | NYM     | 0                    | 22.5          |
| <i>Melitaea deione</i>                                           | NYM     | 4                    | 6             |
| <i>Melitaea diamina</i>                                          | NYM     | 25                   | 24            |
| <i>Melitaea didyma</i>                                           | NYM     | 0                    | 6             |
| <i>Melitaea nevadensis</i>                                       | NYM     | 19                   | 24            |
| <i>Melitaea parthenoides</i>                                     | NYM     | 29                   | 168.5         |
| <i>Melitaea phoebe</i>                                           | NYM     | 0                    | 15            |
| <i>Melitaea</i> sp.                                              | NYM     | 48                   | 84            |
| <i>Polygonia c-album</i>                                         | NYM     | 4                    | 82            |
| <i>Vanessa atalanta</i>                                          | NYM     | 8                    | 27            |
| <i>Vanessa cardui</i>                                            | NYM     | 2                    | 7             |
| <i>Anthocharis cardamines</i>                                    | PIE     | 0                    | 21.5          |
| <i>Colias alfacariensis</i>                                      | PIE     | 0                    | 0.5           |
| <i>Gonepteryx cleopatra</i>                                      | PIE     | 1                    | 10            |
| <i>Gonepteryx rhamni</i>                                         | PIE     | 0                    | 13.5          |
| <i>Gonepteryx</i> sp.                                            | PIE     | 0                    | 7.5           |
| <i>Leptidea reali</i>                                            | PIE     | 21                   | 57            |
| <i>Pieris brassicae</i>                                          | PIE     | 0                    | 20            |
| <i>Pieris napi</i>                                               | PIE     | 0                    | 352.5         |
| <i>Pieris rapae</i>                                              | PIE     | 5                    | 60.5          |
| <i>Hamearis lucina</i>                                           | RIO     | 0                    | 4.5           |
| <i>Aphantopus hyperantus</i>                                     | SAT     | 1                    | 526           |
| <i>Coenonympha arcania</i>                                       | SAT     | 3                    | 191           |
| <i>Coenonympha glycerion</i>                                     | SAT     | 0                    | 2             |
| <i>Coenonympha pamphilus</i>                                     | SAT     | 0                    | 70            |
| <i>Erebia meolans</i>                                            | SAT     | 2                    | 14            |
| <i>Erebia neoridas</i>                                           | SAT     | 0                    | 2             |
| <i>Erebia</i> sp.                                                | SAT     | 1                    | 0             |
| <i>Lasiommata maera</i>                                          | SAT     | 0                    | 4             |
| <i>Lasiommata megera</i>                                         | SAT     | 0                    | 3             |
| <i>Maniola jurtina</i>                                           | SAT     | 2                    | 103           |
| <i>Melanargia lachesis</i>                                       | SAT     | 0                    | 2             |
| <i>Pararge aegeria</i>                                           | SAT     | 0                    | 146           |
| <i>Pyronia tithonus</i>                                          | SAT     | 1                    | 0             |

Taula 3. Llista d'espècies de la comunitat de papallones de l'estació del CBMS amb les seves abundàncies calculades fent la mitjana de juny a agost del 2022, i llista d'espècies censades a l'abeurador de la localitat amb la seva abundància en el mateix període a l'Estació CBMS-85, Gerri de la Sal. Les famílies o subfamílies diferenciades són els LYC: licènids; NYM: nimfàlids; PIE: pièrids; SAT: satírids; HES: hespèrids; PAP: papiliònids.

| Espècie                                 | Família | Abu. cens<br>abeurador | Abu.<br>CBMS-85 |
|-----------------------------------------|---------|------------------------|-----------------|
| Carcharodus alceae                      | HES     | 2                      | 0               |
| Erynnis tages                           | HES     | 0                      | 1               |
| Hesperia comma                          | HES     | 13                     | 2               |
| Pyrgus sp. (P. carthami i P. malvoides) | HES     | 197                    | 99.5            |
| Thymelicus sylvestris                   | HES     | 11                     | 0               |
| Libythea celtis                         | LIB     | 8                      | 5.5             |
| Aricia agestis                          | LYC     | 1                      | 0               |
| Aricia cramera                          | LYC     | 0                      | 2               |
| Celastrina argiolus                     | LYC     | 0                      | 6               |
| Cupido alcetas                          | LYC     | 1                      | 0               |
| Cupido argiades                         | LYC     | 2                      | 0               |
| Cupido minimus                          | LYC     | 0                      | 0.5             |
| Cupido osiris                           | LYC     | 5                      | 2.5             |
| Cyaniris semiargus                      | LYC     | 1                      | 0               |
| Favonius quercus                        | LYC     | 1                      | 2               |
| Glauropsyche alexis                     | LYC     | 0                      | 0.5             |
| Laeosopis roboris                       | LYC     | 0                      | 2               |
| Lampides boeticus                       | LYC     | 1                      | 5.5             |
| Leptidea sinapis                        | LYC     | 6                      | 0               |
| Leptotes pirithous                      | LYC     | 2                      | 0               |
| Lysandra bellargus                      | LYC     | 17                     | 19              |
| Lysandra coridon                        | LYC     | 155                    | 274             |
| Plebejus argus                          | LYC     | 28                     | 28              |
| Polyommatus amandus                     | LYC     | 3                      | 2               |
| Polyommatus damon                       | LYC     | 2                      | 0               |
| Polyommatus escheri                     | LYC     | 44                     | 20              |
| Polyommatus icarus                      | LYC     | 15                     | 14.5            |
| Polyommatus thersites                   | LYC     | 1                      | 3               |
| Satyrion esculi                         | LYC     | 5                      | 18              |
| Thecla betulae                          | LYC     | 0                      | 2               |
| Aglais io                               | NYM     | 3                      | 0               |
| Apatura ilia                            | NYM     | 5                      | 15.5            |
| Argynnis adippe                         | NYM     | 2                      | 2               |
| Argynnis aglaja                         | NYM     | 3                      | 2               |
| Argynnis niobe                          | NYM     | 0                      | 2               |
| Argynnis paphia                         | NYM     | 1                      | 4               |
| Argynnis sp.                            | NYM     | 1                      | 8               |
| Boloria dia                             | NYM     | 7                      | 21              |
| Brenthis daphne                         | NYM     | 1                      | 0               |
| Limenitis camilla                       | NYM     | 0                      | 4               |
| Limenitis reducta                       | NYM     | 14                     | 13.5            |
| Melitaea cinxia                         | NYM     | 0                      | 0.5             |
| Melitaea deione                         | NYM     | 0                      | 0.5             |
| Melitaea diamina                        | NYM     | 1                      | 0               |
| Melitaea parthenoides                   | NYM     | 1                      | 0.5             |
| Melitaea phoebe                         | NYM     | 2                      | 2               |
| Melitaea sp.                            | NYM     | 3                      | 4               |
| Melitaea trivia                         | NYM     | 0                      | 8               |
| Nymphalis polychloros                   | NYM     | 4                      | 2.5             |
| Polygonia c-album                       | NYM     | 4                      | 7               |
| Vanessa atalanta                        | NYM     | 3                      | 0               |
| Vanessa cardui                          | NYM     | 0                      | 1               |
| Iphiclidus feisthamelii                 | PAP     | 6                      | 49.5            |
| Papilio machaon                         | PAP     | 2                      | 2               |
| Anthocharis cardamines                  | PIE     | 0                      | 0.5             |
| Anthocharis euphenoides                 | PIE     | 0                      | 3.5             |
| Aporia crataegi                         | PIE     | 0                      | 0.5             |
| Colias alfacariensis                    | PIE     | 0                      | 2               |
| Colias crocea                           | PIE     | 0                      | 12              |
| Gonepteryx cleopatra                    | PIE     | 1                      | 6.5             |
| Gonepteryx sp.                          | PIE     | 2                      | 6               |
| Leptidea sinapis                        | PIE     | 0                      | 4.5             |
| Pieris brassicae                        | PIE     | 0                      | 2               |
| Pieris ergane                           | PIE     | 10                     | 12.5            |
| Pieris napi                             | PIE     | 2                      | 1.5             |
| Pieris rapae                            | PIE     | 1                      | 26              |
| Arethusana arethusa                     | SAT     | 1                      | 0               |
| Brintesia circe                         | SAT     | 0                      | 93              |
| Coenonympha arcania                     | SAT     | 11                     | 20              |
| Coenonympha dorus                       | SAT     | 8                      | 0               |
| Coenonympha pamphilus                   | SAT     | 0                      | 6.5             |
| Hipparchia fagi                         | SAT     | 0                      | 4               |
| Hipparchia fidia                        | SAT     | 3                      | 11              |
| Hipparchia hermione                     | SAT     | 9                      | 21.5            |

| Espècie               | Família | Abu. cens<br>abeurador | Abu.<br>CBMS-85 |
|-----------------------|---------|------------------------|-----------------|
| Hipparchia statilinus | SAT     | 0                      | 7.5             |
| Lasiommata megera     | SAT     | 0                      | 5.5             |
| Maniola jurtina       | SAT     | 0                      | 7               |
| Melanargia lachesis   | SAT     | 3                      | 44              |
| Pararge aegeria       | SAT     | 0                      | 8               |
| Pyronia bathseba      | SAT     | 2                      | 18              |
| Pyronia cecilia       | SAT     | 0                      | 10              |
| Pyronia tithonus      | SAT     | 6                      | 12              |

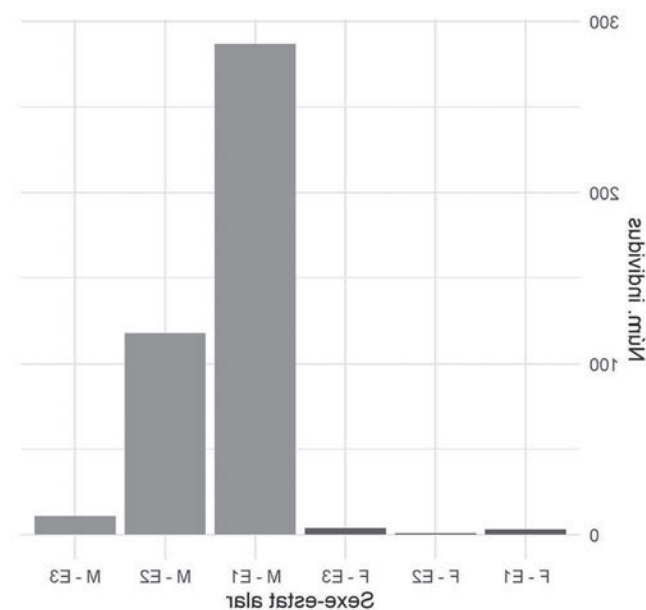


Figura 3. Observacions de papallones bevent del fang en funció del sexe (F-femelles, M-masclles) i l'estat alar (E1, E2, E3).

(Catllar) respecte a la regió mediterrània humida (Gerri de la Sal) pel que fa a les dades de les càmeres (vegeu secció «Patrons d'activitat i efectes climàtics»).

L'abundància de les espècies presents a les dues localitats (dades del CBMS) està fortament correlacionada amb la de les espècies censades als abeuradors ( $W=1300$ ,  $p\text{-valor}=6.93e^{-8}$  al Catllar;  $W=2527.5$ ,  $p\text{-valor}=0.0013$  a Gerri de la Sal), de manera que aquelles espècies que apareixen en major nombre als abeuradors són també les més abundants a la zona (Taula 2-3, Fig. 3). Les famílies que més beuen del fang són els licènids, hespèrids i nimfàlids, tant en nombre d'espècies com en nombre d'individus. Aquestes representen un 95,4 % de l'abundància (782 individus) i un 79 % de les espècies (30 spp.) a l'abeurador del Catllar, i un 88 % de l'abundància (568 individus) i 70 % de les espècies (37 spp.) al de Gerri de la Sal (Taula 2-3).

Al Catllar, les espècies amb una major presència als abeuradors són els licènids *Cupido minimus* (Füssly 1775) ( $n = 166$ ), *Lysandra coridon* (Poda 1761) ( $n = 125$ ), *Lysandra bellargus* (von Rottemburg 1775) ( $n = 97$ ) i *Aricia agestis* (Denis & Schiffermüller 1775) ( $n = 56$ ), l'hespèrid *Thymelicus sylvestris* (Poda 1761) ( $n = 33$ ) i diverses espècies del gènere *Pyrgus* (*Pyrgus serratulae* (Rambur 1839), *P. alveus* (Hübner 1802) i *P. malvoides* (Elwes & Edwards 1897) ( $n = 69$ )). També hi ha una abundància destacable del pièrid *Leptidea*

*reali* (Reissinger 1990) (n = 21). A Gerri de la Sal destaquen les espècies del gènere *Pyrgus* (n = 197), *L. coridon* (n = 155), *Polyommatus escheri* (Hübner 1823) (n = 44), *Plebejus argus* (Linnaeus 1758) (n = 25) i *L. bellargus* (n = 17). En totes dues localitats s'han observat força espècies de nimfàlids (13 i 14, al Catllar i a Gerri de la Sal, respectivament). A més, a Gerri de la Sal hi ha una proporció més destacable de satírids (8 espècies) i papil·lionids (2 espècies) que al Catllar, on s'han observat 5 espècies de satírids i cap papil·lionid (Taula 1).

També, cal destacar que hi ha espècies que han aparegut bevent del fang però que no han aparegut en els censos CBMS, com per exemple *Plebejus argus* (Linnaeus 1758) o *Carcharodus alceae* (Esper 1780) al Catllar (Taula 2) o *Thymelicus sylvestris* (Poda 1761), *Leptidea sinapis* (Linnaeus 1758) o *Coenonympha dorus* (Esper 1782) a Gerri de la Sal (Taula 3). Això reforça el fet que els abeuradors són punts d'atracció importants per a la fauna de la zona, fins al punt que hi apareixen espècies que no queden registrades als censos BMS.

### Beure d'altres substrats

Hi ha espècies que, tot i ser presents i abundants a la zona (segons censos CBMS), no han acudit als abeuradors durant el nostre estudi, per exemple *Pararge aegeria* (Linnaeus 1758) i *Argynnis paphia* (Linnaeus 1758) al Catllar (Taula 2a) i *Brintesia circe* (Fabricius 1775) a Gerri de la Sal (Taula 2b). Tot i això, aquestes tres espècies s'han observat en repetides ocasions en abeuradors d'altres localitats. Sense anar més lluny, *A. paphia* s'ha observat a l'abeurador de Gerri de la Sal. El comportament de *mud-puddling* també es duu a terme en altres substrats. Durant els censos hem observat diverses espècies de nimfàlids bevent dels exsudats de l'escorça de salzes, entre les quals hi ha *Nymphalis polychloros* (Linnaeus 1758), *Apatura ilia* (Denis & Schiffermüller 1775), *Polygo-*

*nia c-album* (Linnaeus 1758), *Limnitis reducta* (Staudinger 1901) i *Vanessa atalanta* (Linnaeus 1758), i també diverses espècies de satírids fent el mateix, com *B. circe*, *P. aegeria*, *Hipparchia hermione* (Linnaeus 1764) i *Maniola jurtina* (Linnaeus 1758). També s'ha observat que *P. c-album* bevia dels exsudats de les flors dels cards (Oro et al. 2023) i s'han vist licènids com *L. bellargus* i *L. coridon* bevent d'objectes personals dels observadors, com la carpeta, un llibre o la cantimplora. Per últim, els excrements també són un substrat utilitzat per alguns pièrids (*L. reali*), alguns nimfalins (*Melitaea* sp.), alguns satirins (*Erebia* sp.) i alguns hespèrids (*Pyrgus* sp., *Thymelicus acteon* (von Rottemburg 1775), *Carcharodus lavaterae* (Esper 1783), *Erynnis tages* (Linnaeus 1758)), i per gairebé totes les espècies de licènids registrades en les nostres observacions.

Taula 4. Resultats del model GLMM: núm. individus ~ sexe\*estat alar + (1|Espècie); en negreta s'indiquen els p-valors significatius.

| Variable      | Coefficient | p-valor |
|---------------|-------------|---------|
| (Intercept)   | -0.355      | 0.601   |
| Sexe M        | 1.595       | 0.018   |
| Estat alar E2 | 0.466       | 0.734   |
| Estat alar E3 | 0.102       | 0.907   |
| M : E2        | -1.343      | 0.328   |
| M : E3        | -2.491      | 0.007   |

Taula 5. Resultats dels 2 models GLMM elaborats indicant la fórmula i el p-valor de les variables testades en cada cas. En negreta s'indiquen els p-valors significatius.

|                  | Model 1                                                                    |         | Model 2                                                                                           |          |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                  | Abundància ~ Temp. Mitj *<br>Localitat + Franja +<br>Franja2 + (1 Període) |         | Abundància màx ~ Temp.<br>Màx + PPT mateix dia + PPT<br>dia anterior + Localitat<br>+ (1 Període) |          |
| Variables        | Coefficient                                                                | p-valor | Coefficient                                                                                       | p-valor  |
| Temperatura      | 0.652                                                                      | < 2e-16 | 0.756                                                                                             | 6.18e-11 |
| PPT mateix dia   | —                                                                          | —       | -0.148                                                                                            | 0.017    |
| PPT dia anterior | —                                                                          | —       | -0.167                                                                                            | 0.008    |
| Franja horària   | -0.034                                                                     | 0.058   | —                                                                                                 | —        |
| Franja2          | -0.293                                                                     | < 2e-16 | —                                                                                                 | —        |
| Localitat        | -0.821                                                                     | 0.031   | -1.322                                                                                            | 0.011    |
| Localitat*Temp.  | -0.284                                                                     | 6.32e-8 | —                                                                                                 | —        |

Segons les nostres observacions, sembla que en latituds temperades hi ha famílies que prefereixen beure del fang i d'excrements, com els licènids, hespèrids i pièrids, mentre que en els nimfalins i satirins les preferències per beure del fang o d'exsudats d'arbres i flors estan més equilibrades.

### Els gremis

Burger & Gotchfield (2001) van suggerir que les papallones poden seguir dues estratègies a l'hora de beure del fang: (1) agrupar-se en grups grans o gremis per tal de reduir el risc de depredació individual, o (2) distanciar-se per aprofitar la

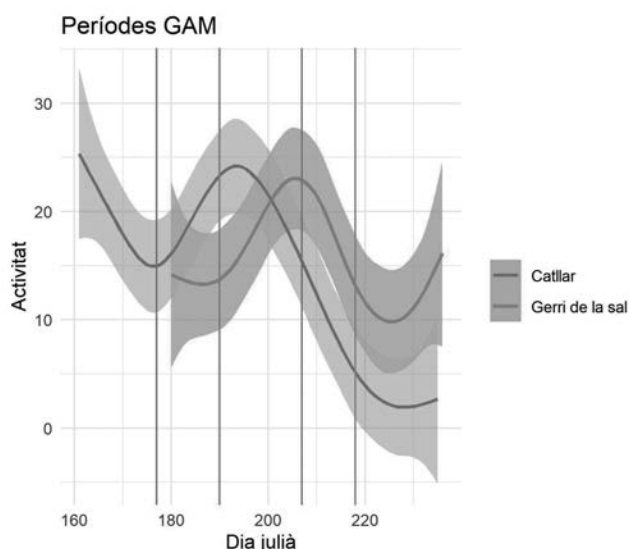


Figura 4. Gràfic il·lustrant la corba d'abundància a partir del model GAM a les dues localitats. En vertical, les marques que separen cadascun dels 3 períodes a cada localitat, amb el color corresponent.

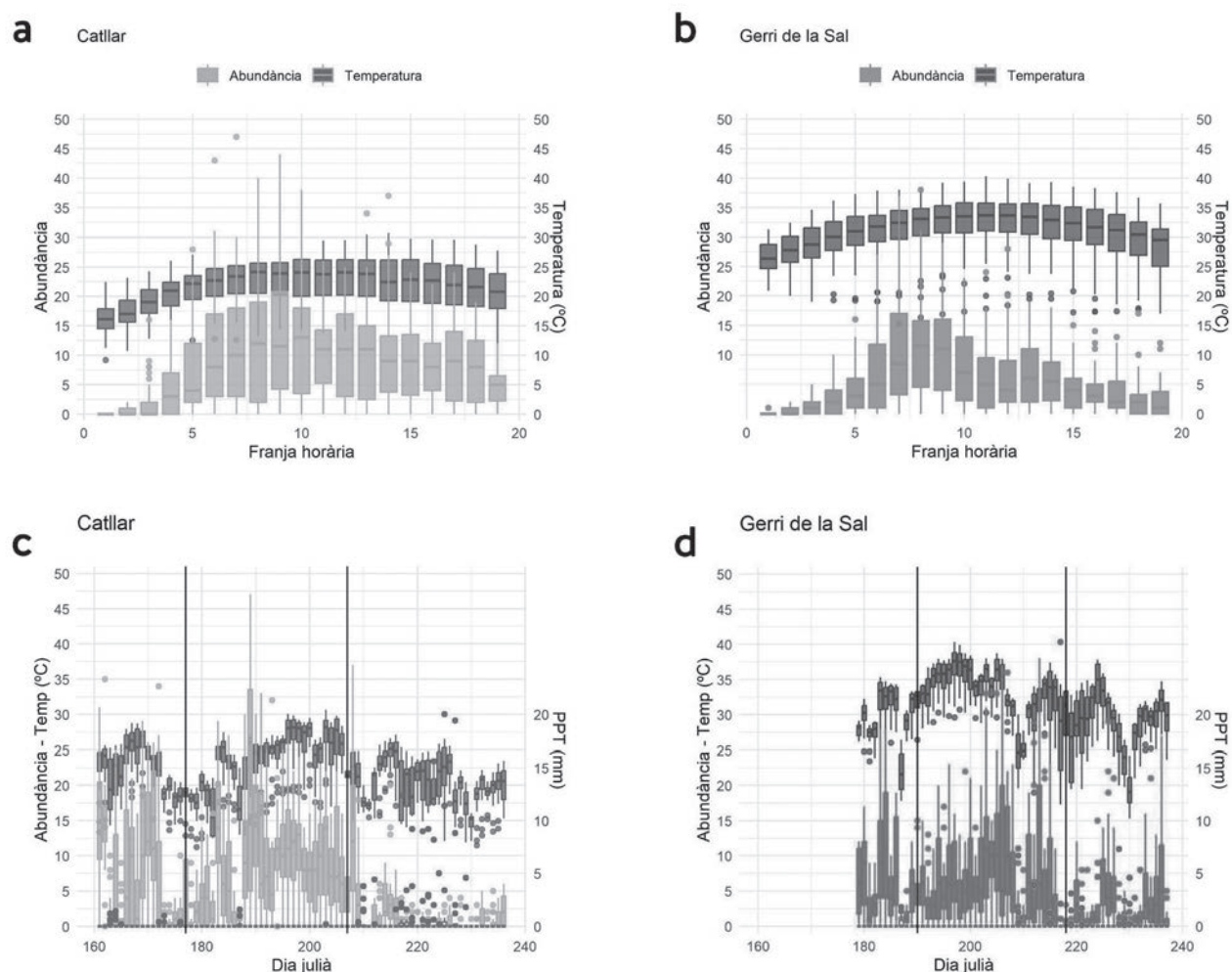


Figura 5. Diagrames de caixes que mostren els patrons diari (per franja horària, a-b) i estacional (per dia, c-d) d'activitat als abeuradors segons les imatges de fototrampeig: en blau, les dades del Catllar i, en verd, les de Gerri de la Sal. En els gràfics també s'hi representa la temperatura (°C) i la precipitació diària acumulada (PPT, mm). Les franges horàries a-b van de la 1 (9:00) a la 19 (18:00), i els períodes fenològics c-d apareixen indicats amb marques negres verticals.

seva coloració críptica. En el nostre estudi, les famílies que creen gremis, o agrupacions de més de dos individus, són majoritàriament els licènids (sobretot *L. coridon*, *C. minimus*, *L. bellargus*) i els hespèrids (sobretot el gènere *Pyrgus*), així com gèneres concrets de nimfalins (*Melitaea* sp.) (>20 individus) i alguns pièrids (*Pieris ergane* (Geyer 1828) i *L. reali*), que formen gremis molt menors en nombre d'individus (4-12 individus). S'han observat puntualment alguns satirins fent gremis de pocs individus (2 o 3), però en poques ocasions.

#### L'efecte del sexe i l'estat alar

Les nostres observacions confirmen un cop més que el comportament de beure del fang el duen a terme preferentment els mascles ( $p = 0.018$ ), majoritàriament quan no són vells ( $p = 0.007$ ) (Fig. 3, Taula 4). No obstant això, ocasionalment també hem observat algunes femelles (*Erebia meolans* (von Prunner 1798),  $n=2$  E2 i E3; o *Gonepteryx* sp. (Leach 1815),  $n=2$  E1 i E2) i mascles vells (*Cupido osiris* (Meigen 1829) o *Polyommatus icarus* (von Rottemburg 1775); Taula

1) als abeuradors, tal com afirmen altres estudis (Sculley & Boggs 1996, Boggs & Jackson 1991).

### Patrons d'activitat i efectes climàtics

#### Patrons d'activitat

Les dades recollides amb les càmeres de fototrampeig ens han permès observar el patró d'activitat diari (Fig. 5a-b) i estacional (Fig. 5c-d) de les papallones que visiten els abeuradors en les dues localitats estudiades. L'activitat en els abeuradors al llarg del dia segueix una distribució unimodal, de manera que el pic d'activitat es dona al migdia, entre les 11:30 i 15:00 (franges 6-12, Fig. 5a) al Catllar, i entre les 12:00 i 14:00 (franges 7-10, Fig. 5b) a Gerri de la Sal, i, tot i que després disminueix, no ho fa dràsticament en cap de les dues localitats. Això queda reflectit al model 1 (Taula 5), en què és el valor quadràtic de la franja horària el que té un efec-

te significatiu sobre l'activitat però no la franja horària. També hem observat més activitat a la regió alpina (Catllar) que a la regió mediterrània (Gerri de la Sal) en tots dos models ( $p = 0.031$  model 1 i  $p = 0.011$  model 2, Taula 5).

Pel que fa a l'activitat al llarg de la temporada d'estudi hem distingit tres períodes fenològics a cadascuna de les localitats. Els períodes resultants del model GAM per a cada localitat han estat per al Catllar: el període 1 els dies julians 161-177, el període 2 els dies 178-207 i el període 3 els dies 208-237; i per a Gerri de la Sal: període 1 els dies 180-190, el període 2 els dies 191-217 i el període 3 els dies 218-237 (Fig. 4, Fig. 5c-d). Aquests períodes reflecteixen moments fenològics amb màximes abundàncies de papallones al llarg de la temporada. Són més abundants els comptatges en el segon període, que comprèn del 27 de juny (dia 178) al 26 de juliol (dia 207, Fig. 5c) per al Catllar i del 10 de juliol (dia 171) al 5 d'agost (dia 217, Fig. 5d) per a Gerri de la Sal. En aquest darrer cas, les dades són més escasses degut a la pèrdua de la informació de les primeres dues setmanes de mostreig.

### L'efecte de la temperatura

Les anàlisis ens indiquen un efecte significatiu de la temperatura, de manera que a major temperatura l'activitat als abeuradors també augmenta, però no ho fa de la mateixa manera en una regió i a l'altra (Taula 5). A la regió alpina (Catllar) l'activitat augmenta amb la temperatura, mentre que a la regió mediterrània (Gerri de la Sal) aquest efecte positiu de la temperatura es veu atenuat quan aquesta marca valors de 38-40 °C. En aquests casos l'activitat disminueix o es manté però deixa d'augmentar. Aquestes diferències entre localitats es poden explicar per diversos motius. En primer lloc, les espècies poden tenir adaptacions locals i comportar-se d'una manera diferent en climes més càlids o més freds, tot i ser presents en les dues localitats. En segon lloc, la temperatura màxima assolida és gairebé 10 °C més alta a Gerri de la Sal que al Catllar (Fig. 5a-b), i aquesta diferència podria provocar una reducció de l'activitat general en aquesta localitat o inclús entrades en diàpauza els dies més càlids. Aquests resultats, per tant, confirmen parcialment la nostra hipòtesi inicial segons la qual l'activitat als abeuradors augmenta amb la temperatura (excepte quan les temperatures són extremament altes), un fet que es podria relacionar amb la necessitat de les papallones d'hidratar-se en episodis de molta calor a latituds temperades.

### L'efecte de la precipitació

Per altra banda, els dies que plou l'activitat de les papallones als abeuradors disminueix considerablement ( $p = 0.017$ ) i el mateix passa quan la pluja ha caigut el dia anterior ( $p = 0.008$ , Taula 5). Pel que fa a la disminució de l'abundància el mateix dia de la precipitació, aquesta l'associem a la disminució de l'activitat general de les papallones quan plou. En canvi, l'efecte de la pluja del dia anterior el podem associar a diverses casuístiques, com el fet que es creïn altres abeuradors temporals potencialment visitats per papallones de manera que l'activitat es redueix a l'abeurador mostrejat, no

perquè l'activitat general de la zona baixi, sinó per un efecte de dilució en què l'esforç es reparteix entre d'altres abeuradors temporals o en altres substrats. Altrament, la baixada podria ser deguda al fet que no necessiten obtenir l'aigua dels abeuradors perquè que ja n'hi ha de disponible al nèctar de les flors. Una última explicació podria ser que les sals del sòl es dissolen amb la pluja i, en conseqüència, les papallones visiten altres abeuradors més rics en sals, però això no ho hem pogut testar amb el nostre mètode perquè no hem analitzat el substrat de cada abeurador. De cara a futurs estudis, seria interessant comparar i analitzar diferents tipus de substrat.

D'altra banda, la baixa quantitat de dades de la precipitació caiguda durant el període mostrejat, sobretot a la regió mediterrània, no ens permet extreure conclusions sòlides respecte a les diferències entre regions. En futurs estudis sobre aquest comportament recomanem dur a terme els mostresjos amb les càmeres de fototrampeig durant tota la temporada de vol de les papallones, de març a setembre, per aprofundir en l'efecte de la precipitació del dia anterior en cadascuna de les regions climàtiques, així com en els patrons d'activitat estacional.

### Valoració del mètode d'estudi: l'ús de càmeres de fototrampeig

Podem afirmar que l'ús de càmeres de fototrampeig per estudiar l'activitat de les papallones als abeuradors ens aporta informació que complementa la dels censos i, tot i que és poc precisa, ens aporta una gran quantitat de dades de manera contínua difícil d'obtenir d'altres maneres. Tant és així que hem pogut observar diferències en l'activitat als abeuradors gràcies a les dades de les càmeres, que amb els censos no hem pogut detectar. En aquesta línia, les càmeres de fototrampeig poden servir per documentar i estudiar la depredació en abeuradors de papallones, un aspecte en el qual no hem aprofundit en aquest treball. Les nostres càmeres han captat la presència de possibles depredadors de manera aleatòria i, tot i que no han fotografiat cap depredació evident, han retratat animals (Fig. 6) que poden incloure les papallones a la seva dieta, com ara ocells (Burger & Gotchfield 2001, Stefanescu 2023) i rèptils (observació d'un atac d'una sargantana a una *Celastrina argioulus* en un abeurador a la Vall de Cabó, 2023; P. Roy, com. pers.). En un futur, seria interessant indagar aquest aspecte fent servir les càmeres de fototrampeig per detectar i gravar depredacions en els abeuradors.

Per tot això, valorem positivament l'ús d'aquesta metodologia sempre que es complementi amb treball de camp destinat a verificar les dades de les càmeres i obtenir més informació sobre les espècies mostrejades. D'altra banda, es podria fer un estudi de mercat comptant amb l'assessorament d'experts per escollir un model de càmera amb alta qualitat d'imatge que s'ajusti a aquest tipus d'estudi, ja que hi ha marge de millora pel que fa a la qualitat d'imatge de les càmeres utilitzades en aquest treball.

Pel que fa als censos, assumim un marge de millora pel fet que la informació obtinguda no és del tot completa, donat que espècies que s'han observat bevent del fang de manera regular en anys anteriors no han estat detectades durant els



Figura 6. Possibles depredadors capturats per les càmeres de fototrampeig. D'esquerra a dreta: cuereta blanca (*Motacilla alba*) a Gerri de al Sal i cucut (*Cuculus canorus*) al Catllar.

nostres censos (p. ex. *Pieris napi* al Catllar, o papiliònids formant gremis a Gerri de la Sal).

## Conclusions

Aquest treball ha servit per ampliar el coneixement del comportament de *mud-puddling* (que en català hem traduït com a «beure del fang») a latituds temperades. A Catalunya, les famílies de papallones diürnes que més duen a terme aquest comportament són els licènids i els hespèrids, que també són les que tenen més tendència a formar gremis. Els nimfalins i els satirins mostren una major tendència a combinar el beure del fang amb l'aprofitament d'exsudats de l'escorça dels arbres i de les flors de card, i pràcticament totes les famílies poden beure d'excrements. Ara bé, no totes les espècies de les famílies esmentades duen a terme aquest comportament, i se'n desconeixen els motius. També, als abeuradors s'han observat espècies que no han estat detectades pels censos CBMS, la qual cosa reforça la idea que els abeuradors són punts d'atracció importants per a la fauna de la zona. L'activitat observada a l'abeurador ha estat lleugerament major a la regió alpina respecte a la regió mediterrània, mentre que la proporció d'espècies que duu a terme aquest comportament a cadascuna de les regions ha estat força similar.

Hem comprovat que són sobretot els mascles joves els que acudeixen als abeuradors, tal com passa en regions tropicals, i que l'activitat segueix una distribució unimodal amb un pic d'activitat a migdia que baixa gradualment a mesura que avança la tarda. La temperatura juga un paper molt important afavorint l'activitat de les papallones als abeuradors, excepte a temperatures extremament altes (38-40 °C), les quals fan que es redueixi la seva activitat en general. Pel que fa a la precipitació recent, no hem pogut extreure conclusions sòlides sobre el seu efecte en l'activitat dels abeuradors a la regió mediterrània humida per la manca de dades degut a les poques precipitacions ocorregudes durant el període de mostreig.

Malgrat que aquest estudi ha contribuït a conèixer millor el fenomen del *mud-puddling* a la nostra regió, també posa en evidència buits de coneixement importants com, per exemple, quin efecte té la precipitació del dia anterior en l'activitat dels abeuradors, si aquest comportament pot tenir com a objectiu l'obtenció d'aigua per minimitzar el risc de deshidratació en latituds temperades, quina funció tenen els abeuradors en períodes de sequera a les regions àrides, què porta a les espècies a dur o no a terme aquest comportament, i quina és la taxa de depredació en abeuradors. Tots aquests aspectes constitueixen vies d'investigació per explorar en el futur en relació amb aquest fenomen.

## Agraïments

Agraeixo a la Institució Catalana d'Història Natural (ICHN) l'atorgament del premi a la Dona Naturalista 2022 que m'ha permès liderar aquest treball i dur-lo a terme amb el suport de l'equip del Catalan Butterfly Monitoring Scheme (CBMS). També agraeixo el suport en el disseny experimental i el treball de camp a en Mike Lockwood, la Blanca Font i en Josep Piqué. Així mateix, estic agraïda a tota la xarxa de voluntaris del CBMS per nodrir la base de dades que ens permet dur a terme treballs científics d'alta qualitat.

## Bibliografia

- Adler, P. H. & Pearson, D. L. 1982. Why do male butterflies visit mud puddles? *Canadian Journal of Zoology*, 60: 322-325.
- Arms, K., Feeny, P. & Lederhouse, R. C. 1974. Sodium: stimulus for puddling behavior by tiger swallowtail. *Science*, 185: 372-374.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. 2023. lme4: Linear mixed-effects models using 'Eigen' and S4. Versió 1.1-27. Disponible a: <https://github.com/lme4/lme4> [Data de consulta: 24 abril 2024].

- Bates, H. W. 1863. The Naturalist on the river Amazons, a record of adventures, habits of animals, sketches of Brazilian and Indian life and aspects of nature under the Equator during eleven years of travel. London, J. Murray. Vol 1. 351 p.
- Boggs, C. L. & Jackson, L. A. 1991. Mud puddling by butterflies is not a simple matter. *Ecological Entomology*, 16: 123-127.
- Burger, J. & Gotchfeld, M. 2001. Smooth-billed ani (*Crotophaga ani*) predation on butterflies in Mato Grosso, Brazil: risk decreases with increased group size. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 49: 482-492.
- Metzguer, M. J., Bunce, R. G. H., Jongman, R. H. G., Sayre, R., Trabucco, A. & Zomer, R. 2013. A high-resolution bioclimate map of the world: a unifying framework for global biodiversity research and monitoring. *Global Ecology and Biogeography*, 22: 630-638.
- Molleman, F. 2010. Puddling: From natural history to understanding how it affects fitness. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 134 (2): 107-113.
- Oro, D., Stefanescu, C., Alba, M., Capitán, J., Ubach, A. & Genovart, M. 2023. Factors affecting survival and dispersal of the comma butterfly in a high mountain deciduous forest habitat. *Animal Biodiversity and Conservation*, 46 (1): 1-11.
- Phillips, B. B., Shaw, R. F., Holland, M. J., Fry, E. L., Bardgett, R. D., Bullock, J. M. & Osborne, J. L. 2018. Drought reduces floral resources for pollinators. *Global Change Biology*, 24: 3226-3235.
- Phon C., Kirton L. G. & Yusoff, N., 2017. Monitoring butterflies using counts of puddling males: A case study of the Rajah Brooke's Birdwing (*Trogonoptera brookiana albescens*). *PLoS One*, 13(4): e0196304.
- Pivnick, K.A. & McNeil, J.N. 1987. Puddling in butterflies: sodium affects reproductive success in *Thymelicus lineola*. *Physiological Entomology*, 12: 461-472.
- Pollard, E., & Yates, T.J. 1993. Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation. Chapman & Hall, London, UK. 274 p.
- Prokopy, R.J. & Roitberg, B.D. 2001. Joining and avoidance behaviour in non-social insects. *Annual Review of Entomology*, 46: 631-665.
- R Core Team. 2023. stats: The R Stats Package. Versió 4.3.0. Disponible a: <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/stats-package.html> [Data de consulta: 24 abril 2024].
- Sculley, C.E. & Boggs, C.L. 1996. Mating systems and sexual division of foraging effort affect puddling behaviour by butterflies. *Ecological Entomology*, 21:193-197.
- Stefanescu, C. 2023. Feeding on migratory butterflies: opportunistic observations of birds preying on the Painted Lady, *Vanessa cardui*. *Catalan Journal of Ornithology*, 39: 21-28.
- Tea, Y.K., Soong, J.W., Gan, C.W. & Lohman, D.J. 2020. Beachgoing butterflies: marine puddling on black sand beaches of Tangkoko Batu Angus Nature Reserve, North Sulawesi. *Journal of the Lepidopterists Society*, 74(2): 127-131.
- Vila, R., Stefanescu, C. & Sesma, J.M. 2018. *Guia de les papallones diürnes de Catalunya*. Lynx. Barcelona. 509 p.
- Wickham, H. 2023. ggplot2: A system for declarative graphics in R. Versió 3.3.5. Disponible a: <https://github.com/tidyverse/ggplot2> [Data de consulta: 24 abril 2024].
- Wood, S.N. 2021. mgcv: Mixed GAM Computation Vehicle with GCV/AIC/REML smoothness estimation. Versió 1.8-36. Disponible a: <https://CRAN.R-project.org/package=mgcv> [Data de consulta: 24 abril 2024].