

## **Estudi de la dinàmica poblacional de les poblacions de culícids als arrossars del Baix Empordà**

---

**Estudiant:** Noelia Gómez Aguilera

Grau en Biologia

**Correu electrònic:** noeliaa7x@gmail.com

**Tutor:** Xavier Quintana Pou

**Cotutor\*:** Xavier Puig Montserrat

**Empresa / institució:** Associació Galanthus

Vistiplau tutor (i cotutor\*):

**Nom del tutor:** Xavier Quintana Pou

**Nom del cotutor\*:** Xavier Puig Montserrat

**Empresa / institució:** Associació Galanthus

**Correu(s) electrònic(s):** xavier.quintana@udg.edu ;  
xavierpuigm@gmail.com

\*si hi ha un cotutor assignat

Data de dipòsit de la memòria a secretaria de coordinació: 20/07/2018

## **AGRAÏMENTS**

En primer lloc vull agrair a en Xavier Puig tots els recursos que m'ha facilitat a l'hora de realitzar aquest treball, els consells i l'extrema paciència, i la confiança que ha dipositat en mi. També em sento agraïda amb l'Albert Burgas i l'Anna Planellas, amb qui vaig realitzar la feina de camp i tota la recollida de mostres. L'Eduard Marquès del Servei de Control de Mosquits m'ha facilitat informació que ha estat molt útils sobretot a l'hora d'entendre i discutir els resultats obtinguts, i agraeixo sincerament la seva disponibilitat i predisposició a resoldre qualsevol dubte que li he plantejat.

Dono les gràcies a en Xavier Quintana per haver-me guiat tant en la redacció del treball i el tractament de dades, i també a la Marina Roldán, qui considero que ha fet una feina excel·lent en el seu paper de tutora del Pla d'Acció Tutorial, ja que amb les seves tutories m'ha ajudat a organitzar-me i a veure les coses amb objectivitat i perspectiva.

## RESUM

Degut al creixent interès en l'ecologia dels mosquits i en les seves dinàmiques poblacionals, en aquest treball es fa un estudi de les espècies de culícids presents als arrossars del Baix Empordà, i s'analitzen les variacions temporals de les seves poblacions d'adults. També s'avalua la influència que hi poden exercir diferents factors ambientals i la cobertura del sòl en un radi de 100, 300 i 500 metres respecte cada punt de mostreig per englobar la distància de vol de les espècies detectades. Degut a que la importància de factors meteorològics com la temperatura, la intensitat del vent i la precipitació ha estat descrita en estudis previs, s'incorporen dades recollides a l'estació meteorològica de l'Estartit per buscar correlacions entre les dinàmiques poblacionals i aquests factors. La recollida de mostres es fa mitjançant 6 trampes Biogents Mosquitaire (trampes de succió) amb atraients que simulen olor humana i 15 estacions repartides per la zona de treball.

En total es determinen 3988 mosquits, pertanyents a set espècies diferents. Un 99.7% dels individus capturats es troben dins el gènere *Culex*. Dins d'aquest gènere, al contrari del que caldria esperar en un primer moment, domina l'espècie *C. modestus* per sobre de *C. pipiens*, i *C. theileri* presenta poblacions amb molt baixa densitat. No es detecten individus del gènere *Aedes*, i *Culiseta* i *Anopheles* apareixen de manera anecdòtica.

De les variables meteorològiques considerades en aquest estudi, es troba significació en els casos de la temperatura mínima, la intensitat del vent, i la humitat relativa, presentant sempre correlacions negatives amb el nombre de captures. S'ha de tenir en compte que les variables utilitzades pertanyen a una estació meteorològica que es troba a uns 9 km de la zona d'estudi, i que per tant els resultats poden allunyar-se de la realitat en certa mesura. D'acord amb els resultats esperats, l'heterogeneïtat espacial manifesta una relació negativa amb el nombre d'adults detectats, i les zones de boscos afavoreixen la presència de mosquits.

## RESUMEN

Debido al creciente interés en la ecología de los mosquitos y en sus dinámicas poblacionales, en este trabajo se realiza un estudio de las especies de culícidos presentes en los arrozales del Baix Empordà y se analizan las variaciones temporales de sus poblaciones de adultos. También se evalúa la influencia que pueden ejercer diferentes variables ambientales y la cobertura del suelo en un radio de 100, 300 y 500 metros respecto cada punto de muestreo para englobar las distancias de vuelo de las especies detectadas. Debido a que la importancia de algunos factores meteorológicos como la temperatura, la intensidad del viento y la precipitación ha sido descrita en estudios previos, se incorporan datos recogidos en la estación meteorológica del Estarrit para buscar correlaciones entre las dinámicas poblacionales y estos factores. La recogida de muestras se realiza mediante 6 trampas Biogents Mosquitaire (trampas de succión) con atrayentes que simulan olor humana y 15 estaciones repartidas por la zona de trabajo.

En total se determinan 3988 mosquitos, pertenecientes a siete especies diferentes. Un 99.7% de los individuos capturados se encuentran dentro del género *Culex*. Dentro de este género, al contrario de lo que cabría esperar en un primer momento, domina la especie *C. modestus* por encima de *C. pipiens*, y *C. theileri* presenta poblaciones con muy baja densidad. No se detectan individuos del género *Aedes*, y *Culiseta* y *Anopheles* aparecen de manera anecdótica.

De las variables meteorológicas consideradas en este estudio, se ha encontrado significación en los casos de temperatura mínima, intensidad del viento y humedad relativa, presentando siempre correlaciones negativas con el número de capturas. Hay que tener presente que las variables utilizadas pertenecen a una estación meteorológica que se encuentra a unos 9 km de la zona de trabajo, y que por tanto los resultados pueden alejarse de la realidad en cierta medida. En acuerdo con los resultados esperados, la heterogeneidad espacial manifiesta una relación negativa con el número de adultos detectados, y las zonas de bosque favorecen la presencia de mosquitos.

## ABSTRACT

Due to the growing interest in the ecology of mosquitoes and their population dynamics, we conducted a study on the culicid species present in the Baix Empordà rice fields, assessing the temporal variations of their adult populations. We also evaluate the possible influence of different environmental variables and soil cover in a radius of 100, 300 and 500 meters from each sampling point, to include the flight distance of the detected species. Since the importance of meteorological factors such as temperature, wind intensity and precipitation has been described in previous studies, we incorporate data retrieved on the Estartit's meteorological station. The sample gathering was done by means of 6 Biogents Mosquitaire traps (suction traps) and 15 stations distributed throughout the study area.

A total of 3988 mosquitoes are determined, belonging to seven different species. 99.7% of the trapped individuals are included in the *Culex* genus. Within this genus, contrary to what might be expected at first, *C. modestus* dominates over *C. pipiens*, and *C. theileri* presents very low population densities. No individuals of the genus *Aedes* are detected, and *Culiseta* and *Anopheles* appear anecdotally.

Among the meteorological variables considered in this study, we find significant results in the cases of minimum temperature, wind intensity and relative humidity, always showing negative correlations with the number of catches. It is important to note that the used variables were collected in a meteorological station located 9 km away from the study area, and therefore the results may stray from the reality in a certain measure. In agreement with the expected results, spatial heterogeneity manifests a negative relation with the number of detected adults, and the forested areas favor the mosquitoes' presence.

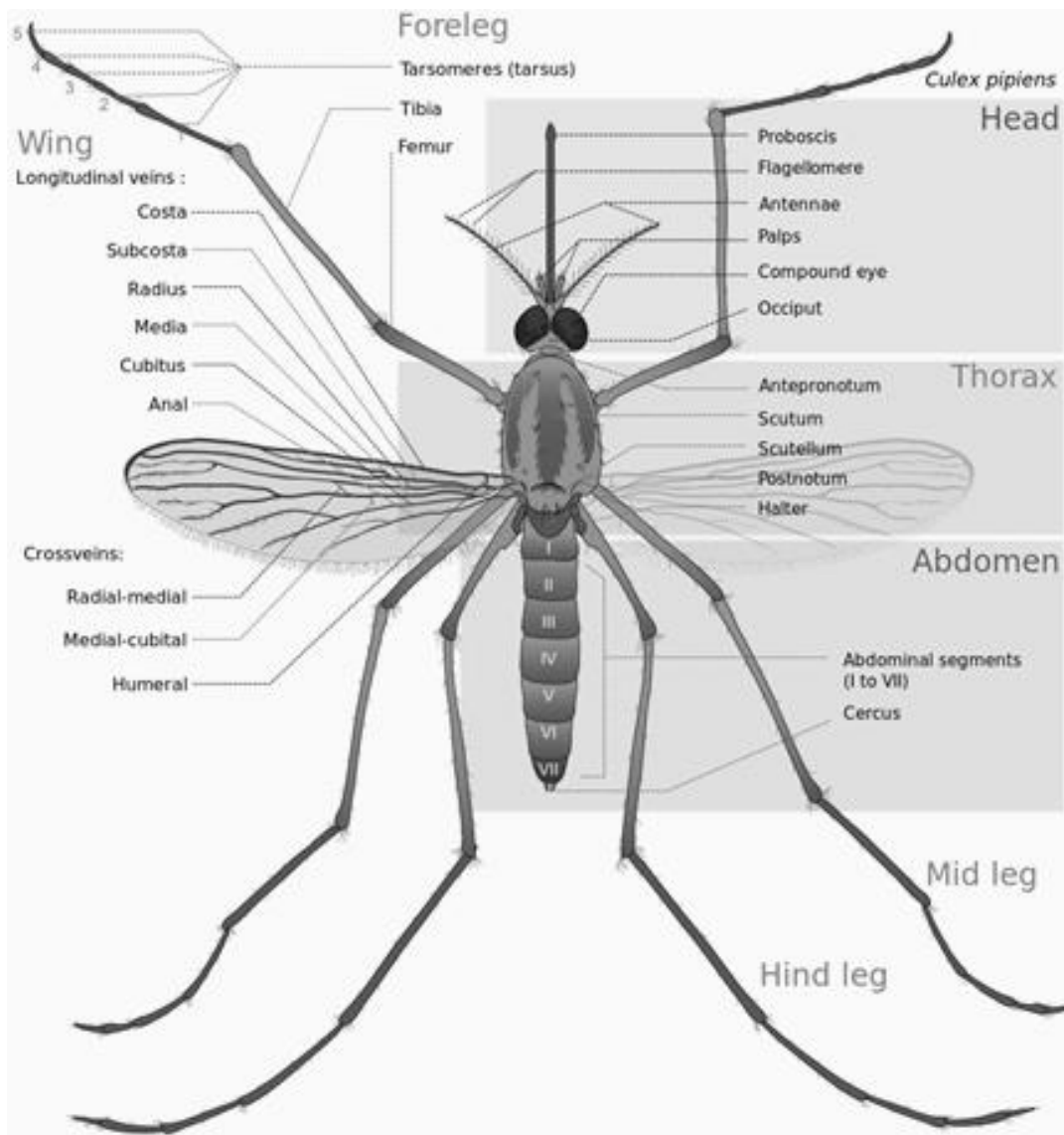


## ÍNDIX DE CONTINGUTS

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓ .....  | 2  |
| 2. AIMS .....   | 5  |
| 3. METODOLOGIA.....   | 6  |
| 3.1. Zona d'estudi, mostreig i processat de les mostres ..... | 6  |
| 3.2. Tractament de dades .....                                | 8  |
| 3.3. Ètica i sostenibilitat.....                              | 9  |
| 4. RESULTATS .....  | 9  |
| 4.1. Limitacions i propostes de millora .....                 | 14 |
| 5. DISCUSSIÓ.....   | 15 |
| 6. CONCLUSIONS .....  | 18 |
| 6. BIBLIOGRAFIA .....   | 19 |

# 1. INTRODUCCIÓ

Dins de l'ordre *Diptera* (insectes amb dues ales), els mosquits formen part de la família *Culicidae*, que alhora es divideix en tres subfamílies: *Culicinae*, *Anophelinae* i *Toxorhynchitinae*. Es poden diferenciar d'altres dípters per tenir una probòscide projectada endavant, per tenir la majoria de parts corporals cobertes d'esquames (tòrax, cames, abdomen i venes alars), i presentar una filera d'esquames al marge posterior de les ales (Figura 1) (Ávila et al., 2013).



**Figura 1.** Anatomia d'un mosquit adult, en aquest cas una femella de *Culex pipiens* (Tyson, 2016).



Dins de la subfamília *Culicinae* els mascles es poden distingir fàcilment de les femelles segons l'aparença de les antenes, ja que els primers presenten antenes en forma de plomalls molt densos, mentre que en les femelles són més curtes i discretes (Service, 2008). A més, la subfamília *Anophelinae* es caracteritza per tenir uns palps iguals o més llargs que la probòscide tant en mascles com en femelles (González et al., 2016).

Les femelles poden dipositar els seus ous a l'aigua com en el cas dels gèneres *Culex*, *Culiseta* o *Anopheles* o bé en el substrat humit just per sobre del nivell de l'aigua com el gènere *Aedes* (Crans, 2004), però tots els mosquits necessiten aigua per tal de que es desenvolupin dos de les etapes del seu cicle vital: la larva i la pupa. La durada de cada una de les etapes del cicle vital (ou, larva i pupa), i l'esperança de vida dels adults depenen de l'espècie i d'altres factors com la temperatura, ja que en els tròpics els temps es veuen accelerats (Service, 2008).

Típicament, els mosquits tenen hàbits vegetarians mantinguts durant tota l'etapa adulta en el cas dels mascles, i s'alimenten de fluids vegetals, exsudats, nèctar, etc (Foster, 1995), i fins i tot de teixits vegetals (Schlein & Muller, 1995). Les femelles, en canvi, quan arriba el moment de fabricar els ous tendeixen a cercar proteïna en la ingesta de sang d'altres animals (Wahid et al., 2003), i és llavors quan es poden produir molèsties en humans o fins i tot transmissió de malalties, ja que els mosquits poden actuar com a vectors del anomenats arbovirus (*arthropod-borne viruses*) (Weaver, 2005).

Les cobertes del sòl són importants a l'hora de l'establiment de poblacions d'adults. Per exemple, una heterogeneïtat espacial pot arribar a disminuir la població d'adults (Lacroix et al., 2009), ja que sembla que aquests prefereixen certa continuïtat en el nivell de vegetació, i tendeixen a evitar zones obertes i prats, utilitzant corredors de vegetació per a dispersar-se (Fried et al., 2005). A més, la distribució d'aquests insectes ve determinada en gran mesura per factors climàtics (Reiter, 2001), i per tant en zones temperades on en un context de canvi climàtic s'esperen importants variacions ecològiques, és interessant fer un seguiment de les espècies presents, així com de les seves dinàmiques poblacionals.

Aquest treball neix dels assajos duts a terme durant l'estiu del 2017 per al projecte *Integració dels ratpenats en el control de mosquits als arrossars empordanesos*, de l'Associació Galanthus, i es centra en un estudi poblacional dels culícids als arrossars del Baix Empordà. Hi ha evidències d'una relació positiva entre densitat de camps d'arròs i abundància i diversitat de mosquits (Amarasinghe & Weerakkodi, 2014; Richards et al., 2010) ja que aquest tipus de cultiu, en zones inundables amb nombrosos canals i basses, formen un entorn ideal per a la seva proliferació.

Els arrossars escollits es troben a prop, a part de dos grans nuclis urbans com són Torroella de Montgrí i Pals, d'altres urbanitzacions i zones d'oci com El Mas Pinell, Els Masos de Pals, Empordà Golf Club 22, Golf Platja de Pals, Càmping Playa Brava, etc. A més, dins de la pròpia zona d'estudi es celebra a l'estiu el *White Summer*, un esdeveniment social força popular amb concerts, i s'hi troba emplaçada Les Teules, una discoteca amb terrassa dins de la propietat del Mas Gelabert. Tot això sumat amb l'augment de la població que s'estableix a les immediacions de la zona d'estudi durant l'estiu degut al turisme, fa que el seguiment i el control dels mosquits que es reproduïxen i proliferen als arrossars sigui de gran importància.

Al llarg de l'estiu, el Servei de Control de Mosquits (SCM) de la badia de Roses i del Baix Ter realitza tres tractaments antilarvaris amb aplicació aèria per tal d'intentar fer un control de les poblacions de culícids adults: el primer a finals de juny, el segon durant la primera quinzena de juliol, i el tercer a finals de juliol. Tot i que les espècies que hi són presents estan documentades gràcies a prospeccions fetes pel SCM, a la zona de treball no hi ha estudis sobre les seves dinàmiques poblacionals, l'afectació de les variables de cobertura del sòl a la població, ni del seguiment real d'aquests tractaments sobre els adults. Entendre els factors que condicionen on i quan és probable que apareguin les diferents espècies de mosquits és essencial per a l'elaboració de mesures de control adequades.

## **2. AIMS**

The most general aim of our work is to explore the temporal adult population dynamics of the culicid species present in the rice fields near the municipality of Pals. In order to study these dynamics, we first aim to elaborate an inventory of the species that currently inhabit the study area.

We also take into account the influence that the soil coverage and meteorology may have over the number of adult mosquitoes. Since the SCM made three anti-larval treatments during the sampling period, we decided to also take a look on how these treatments affect the number of adults trapped on the post-treatment days.

While spatial heterogeneity is expected to decrease the number of adults sampled, forested patches may favor the presence of mosquitoes, according with what other authors have already determined. Days with high temperatures and low wind intensity are likely to allow a better dispersion of the adult mosquitoes and, therefore, we expect this to be reflected on an increased number of the trapped insects.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Zona d'estudi, mostreig i processat de les mostres

La zona d'estudi es troba situada als arrossars del Baix Empordà, entre Pals i Torroella de Montgrí. Les estacions de mostreig s'han coordinat amb l'Associació de Defensa Vegetal (ADV) de l'Arròs de Pals, que disposa de 15 punts en les zones de cultiu (Figura 1), on es monitorea el barrinador de l'arròs (*Chilo suppressalis*), una altra espècie plaga als arrossars.

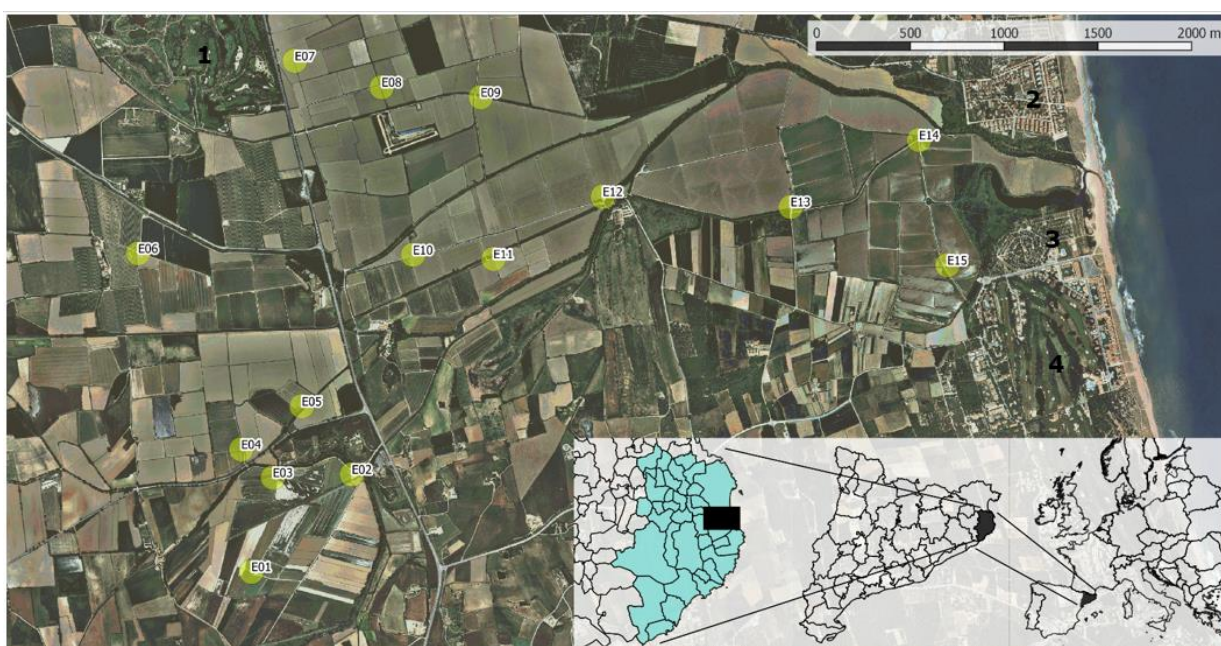


Figura 2. Plànol general i situació de la zona de treball. En groc es marquen i s'enumeren les estacions, mentre que els números negres indiquen els punts urbans més propers als diferents nuclis de mostreig. 1: Empordà Golf Club 22; 2: Urbanització El Mas Pinell; 3: Càmping Playa Brava; 4: Golf Platja de Pals. Autor: Xavi Puig.

Com s'observa al mapa, en aquesta zona comparteixen espai els camps de conreu de l'arròs, i per tant els punts de reproducció dels mosquits, amb llocs d'oci i urbanitzacions que es troben a dins de la distància de vol d'aquests insectes.

Per dur a terme la recollida d'adults es van fer servir 6 trampes Biogents Mosquitaire, que utilitzen com a atraient una barreja artificial que simula olor humana. Per aconseguir que funcionessin de manera autònoma, amb l'assessorament de personal del IMB-CNM (Institut de Microelectrònica de Barcelona, CSIC), es va decidir treballar amb bateries solars de 12V i 7Ah (SolarX 14 Xunzel), que es connectaven a un controlador de càrrega i descàrrega (CML 12V 5A). Aquest conjunt (Figura 2), permetia mantenir els paranys funcionant un mínim de 40h, encara que al camp es deixaven entre 24-30h. Cada setmana es feien dos mostrejos, de manera que dilluns s'instal·laven les trampes i dimarts es recollien les mostres i es carregaven les bateries, repetint el mateix procés dijous i divendres. El període d'estudi va durar des del 19 de juny al 28 de setembre, i la disposició de les trampes a cada dia de mostreig es feia seguint una taula aleatòria.



**Figura 3.** Exemple de muntatge de la trampa a l'Estació 10. La capsa conté la bateria i el regulador, i la tapa es va pintar de blanc per evitar que se sobreescalfés amb el sol. Font pròpia.

Els mosquits s'han sacrificat per congelació, passat a pots d'entomologia i mantingut en fred fins el moment de la determinació d'espècies. Els exemplars recollits s'han determinat amb una lupa binocular i seguint material facilitat per el Servei de Control de Mosquits (SCM), amb el suport addicional de MosKeyTool, una eina informàtica d'identificació d'espècies. En el cas dels mascles, la identificació s'ha limitat a nivell de gènere.

### **3.2. Tractament de dades**

Primerament, per tal de caracteritzar els 15 punts de mostreig, s'ha fet servir el Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya, simplificant i adaptant la seva llegenda a sis categories: matollar, zona urbana, arrossar, altres cultius, herbassars i boscos. Per estudiar l'efecte de l'entorn de l'estació de mostreig sobre les captures d'adults, la composició de la coberta del sòl s'ha fet englobant radis de 100, 300 i 500 metres, suficients per cobrir la mitjana del desplaçament que fan les espècies del gènere *Culex* (Reeves, Brookman, & Hooman, 1948; Tsuda et al., 2008), el més abundant dels que s'han detectat en aquest estudi.

Les variables independents considerades finalment van ser el tipus de coberta del sòl al radi corresponent, la temperatura mínima, el vent nocturn i la humitat relativa a les 18h. Amb el programari Rstudio es van explorar aquestes variables per assegurar que no hi hagués *outliers* o valors atípics ni correlacions elevades entre elles per evitar redundàncies (Zuur et al., 2007). Per obtenir les correlacions de manera visual es va utilitzar la funció HighstatLibV6 (Zuur et al., 2009). Seguidament, es va fer un escalat de les variables seleccionades per tal de que es poguessin comparar millor i es va procedir a modelitzar els seus efectes sobre el total de captures amb models mixtes generalitzats (GLMM), escollint els millors models amb el criteri d'Akaike (AIC) (Akaike, 1974). GLMM permet la incorporació d'una variable aleatòria, en aquest cas l'estació de mostreig.

### 3.3. Ètica i sostenibilitat

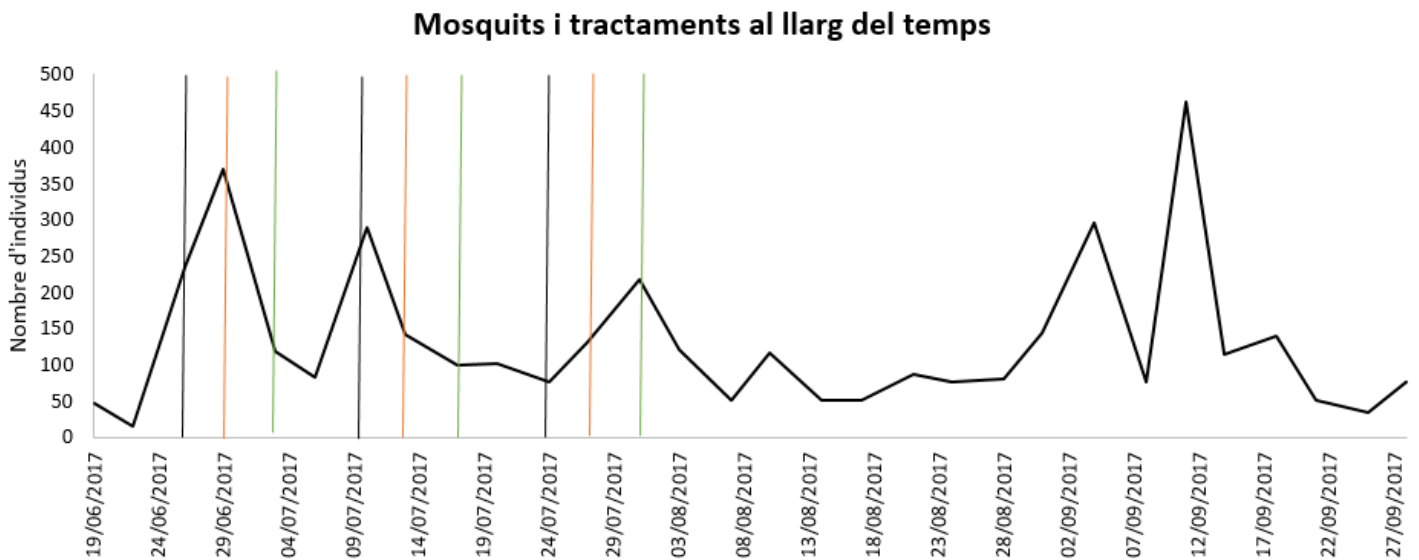
El tipus de trampa utilitzat no genera cap residu tòxic a l'atmosfera ni al sòl, i no requereix l'ús d'insecticides a l'hora d'atrapar els animals, ja que queden retinguts en un flux d'aire que els condueix cap a l'interior de la trampa.

Degut a la tipologia de l'entorn on es va realitzar la recollida de mostres, sempre es van respectar els terrenys cultivats i per instal·lar les trampes es van utilitzar els passos estrets que voregen i delimiten els camps d'arròs, i no es va alterar de cap manera la vegetació que voreja les estacions de mostreig. Per poder traslladar l'equipament en les zones d'accés restringit a vehicles, pertanyents al Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter, es va obtenir un permís especial i sempre es va intentar limitar l'estada i la conducció en aquests espais al temps estrictament necessari.

## 4. RESULTATS

En total es van obtenir 179 mostres entre el 19 de juny i el 28 de setembre de 2017, que van suposar un total de 4069 mosquits, dels quals 3988 s'han pogut identificar. Els 55 mosquits restants es trobaven en pèssim estat de conservació degut a que els pots havien acumulat humitat, o bé només es va recuperar una part del cos que no permetia la seva determinació. La troballa de cossos esquarterats pot ser degut a l'entrada de formigues dins la trampa, i això es pot evitar col·locant la trampa sobre un suport lluny del terra.

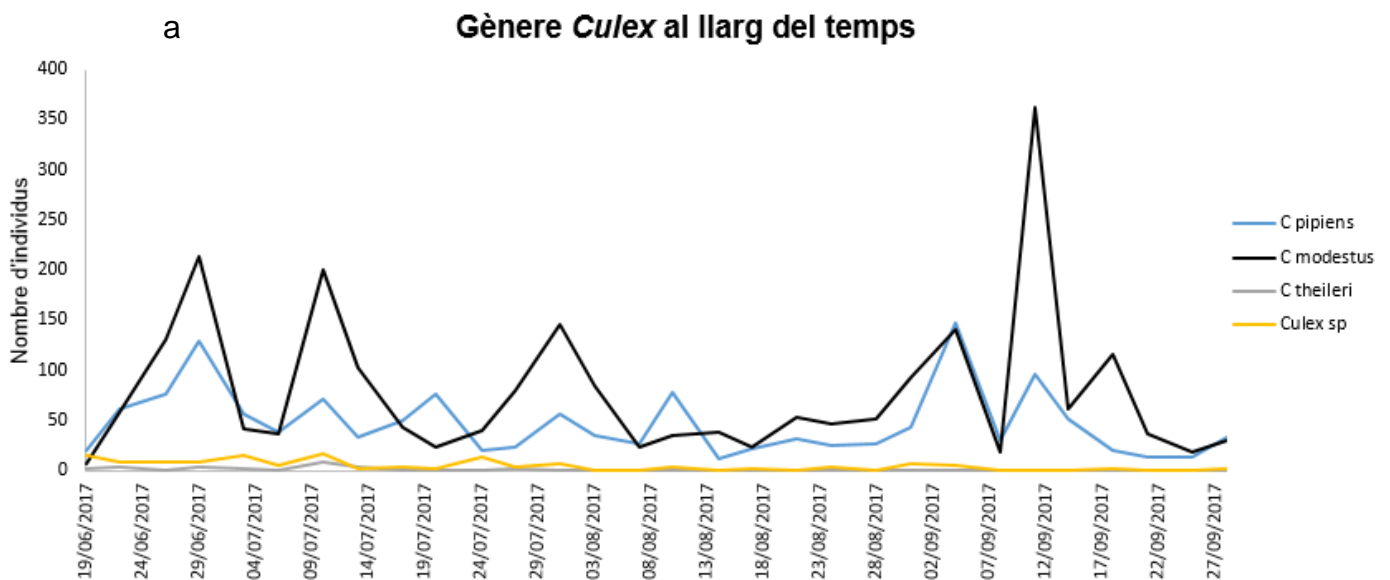
Un 99.7% dels individus pertanyien al gènere *Culex*, un 0.25% al complex de *A. maculipennis* (mascles en la seva totalitat), i un anecdòtic 0.05% (només dos individus) a *Culiseta*, mentre que no es van trobar individus del gènere *Aedes*. A la Figura 3 es mostra l'evolució de les captures totals a cada nit de mostreig al llarg del temps, així com els dies d'aplicació del tractament antilarvari.



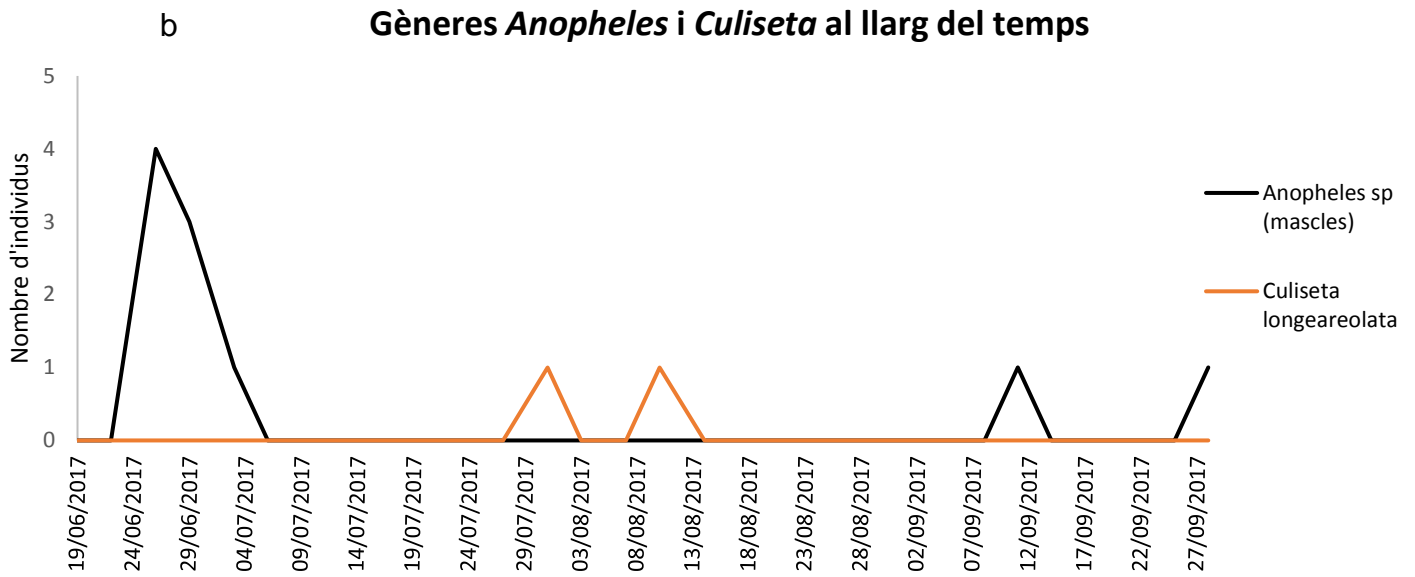
**Figura 3.** Captures totals al llarg del temps. Línia vertical negra: dia d'aplicació de tractament antilarvari; línia vertical vermella: tres dies després d'aplicació del tractament; línia vertical verda: set dies després d'aplicació del tractament.

La població d'adults presentava un comportament diferent en el cas del tercer tractament, fet el dia 25 de juliol. En les altres dues aplicacions hi havia un primer moment d'augment del número d'adults per patir una davallada important en els dies immediatament posteriors. Aproximadament cada 10 dies la població adulta experimentava un augment més o menys important, però el pic més acusat es va produir el dia 11 de setembre.

A la Figura 4 es representa les captures del gènere *Culex* (Figura 4-a), i dels gèneres *Anopheles* i *Culiseta* (Figura 4-b).







**Figura 4.** Evolució de les captures del gènere *Culex* (a) i dels gèneres *Anopheles* i *Culiseta* (b).

Dins el gènere *Culex*, dominava clarament l'espècie *C. modestus* per sobre de *C. pipiens*, mentre que *C. theileri* presentava números molt reduïts. En els gèneres *Anopheles* i *Culiseta* no es va poder apreciar un patró temporal definit degut al nombre tan escàs d'individus recuperats.

De les variables meteorològiques considerades, finalment es va descartar la precipitació ja que l'estiu de 2017 va ser molt sec i les dades presentaven *outliers* o valors atípics, que encara que corresponien a dies de pluja reals podien interferir en els anàlisis estadístics. Pel que fa a les cobertures del sòl, hi havia variables que presentaven una correlació de  $\pm 0.8$  o major, en concret arrossar i cultiu, i temperatura mitjana i temperatura mínima. De cada parella es va eliminar una variable: cultiu i temperatura mitjana. La zona d'estudi és una zona majoritàriament d'arrossar i per això es va decidir conservar aquesta variable, mentre que la majoria d'espècies detectades tenen hàbits nocturns i per tant la temperatura mínima es va considerar important en l'anàlisi de dades.

Utilitzant GLMM es van buscar els millors models que relacionaven el total de mosquits amb les cobertures del sòl i les variables meteorològiques. D'entre tots els models obtinguts es van seleccionar com a solucions, segons el criteri de AIC, el millor model (AIC més baix) i aquells que tenen un AIC+2 respecte aquest.

Aplicant aquest criteri, per als tres radis estudiats de 100, 300 i 500 metres, es van triar respectivament 5, 7 i 14 models. A les Taules 1, 2 i 3 s'hi troben resumits.

**Taula 1.** Modelització de les variables independents sobre el total de captures a un radi de 100 metres, indicant la correlació de les variables i el pes d'aquestes sobre el total de captures, entre parèntesis. S'indica el nombre de models seleccionats sobre el total dels millors models. Hum: humitat a les 18h, Tmin: temperatura mínima, Ventnoc: vent nocturn. \*\*\*:  $p < 0.001$ ; \*\*:  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

| 5 models out of 128 |                     |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                     | Model1              | Model2              | Model3              | Model4              | Model5              |
| <b>Intercept</b>    | 2.94 ***<br>(0.15)  | 2.95 ***<br>(0.15)  | 2.94 ***<br>(0.15)  | 2.94 ***<br>(0.15)  | 2.95 ***<br>(0.15)  |
| <b>Hum</b>          | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) |
| <b>Tmin</b>         | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.12 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) |
| <b>Ventnoc</b>      | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) |
| <b>AIC</b>          | 3573.52             | 3574.43             | 3574.91             | 3574.99             | 3575.49             |

**Taula 2.** Modelització de les variables independents sobre el total de captures a un radi de 300 metres, indicant la correlació de les variables i el pes d'aquestes sobre el total de captures, entre parèntesis. S'indica el nombre de models seleccionats sobre el total dels millors models. Hum: humitat a les 18h, Tmin: temperatura mínima, Ventnoc: vent nocturn, Shannon: heterogeneïtat de la cobertura del sòl. \*\*\*:  $p < 0.001$ ; \*\*:  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

| 7 models out of 512 |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                     | Model1              | Model2              | Model3              | Model4              | Model5              | Model6              | Model7              |
| <b>Intercept</b>    | 2.95 ***<br>(0.10)  | 2.95 ***<br>(0.10)  | 2.95 ***<br>(0.11)  | 2.95 ***<br>(0.11)  | 2.95 ***<br>(0.12)  | 2.95 ***<br>(0.10)  | 2.95 ***<br>(0.11)  |
| <b>Bosc</b>         | 0.68 ***<br>(0.16)  | 0.70 ***<br>(0.15)  | 0.56 ***<br>(0.17)  | 0.62 ***<br>(0.17)  | 0.40 ***<br>(0.16)  | 0.66 ***<br>(0.16)  | 0.46 ***<br>(0.13)  |
| <b>Arrossar</b>     | -0.28<br>(0.15)     | -0.30*<br>(0.14)    |                     | -0.34 *<br>(0.16)   |                     | -0.27<br>(0.15)     |                     |
| <b>Herbassar</b>    | -0.23<br>(0.12)     | -0.27 *<br>(0.12)   | -0.27 *<br>(0.13)   |                     | -0.29 *<br>(0.14)   | -0.25 *<br>(0.12)   | -0.33*<br>(0.13)    |
| <b>Hum</b>          | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) |
| <b>Tmin</b>         | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.12 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.12 ***<br>(0.02) | -0.12 ***<br>(0.02) |
| <b>Ventnoc</b>      | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) |
| <b>Shannon</b>      | -0.52 **<br>(0.20)  | -0.47*<br>(0.20)    | -0.25<br>(0.16)     | -0.60 **<br>(0.22)  |                     | -0.45 *<br>(0.23)   |                     |
| <b>AIC</b>          | 3568.63             | 3569.52             | 3570.01             | 3570.01             | 3570.20             | 3570.32             | 3570.35             |

**Taula 3.** Modelització de les variables independents sobre el total de captures a un radi de 500 metres, indicant la correlació de les variables i el pes d'aquestes sobre el total de captures, entre parèntesis. S'indica el nombre de models seleccionats sobre el total dels millors models. Hum: humitat a les 18h, Tmin: temperatura mínima, Ventnoc: vent nocturn, Shannon: heterogeneïtat de la cobertura del sòl. \*\*\*:  $p < 0.001$ ; \*\*:  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ .

| 7/14 models out of 1024 (I) |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                             | Model1              | Model2              | Model3              | Model4              | Model5              | Model6              | Model7              |
| <b>Intercept</b>            | 2.95 ***<br>(0.10)  | 2.95 ***<br>(0.11)  | 2.95 ***<br>(0.10)  | 2.95 ***<br>(0.10)  | 2.95 ***<br>(0.10)  | 2.95 ***<br>(0.11)  | 2.95 ***<br>(0.11)  |
| <b>Altres</b>               | -0.26 *<br>(0.11)   | -0.30 **<br>(0.11)  |                     | -0.16<br>(0.14)     |                     | -0.31 **<br>(0.11)  | -0.23<br>(0.15)     |
| <b>Bosc</b>                 | 0.39 **<br>(0.12)   | 0.30 **<br>(0.11)   | 0.56 ***<br>(0.14)  | 0.48 **<br>(0.15)   | 0.68 ***<br>(0.20)  | 0.27<br>(0.12)      | 0.35*<br>(0.14)     |
| <b>Hum</b>                  | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) |
|                             | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.12 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.12 ***<br>(0.02) | -0.12 ***<br>(0.02) |
| <b>Urbà</b>                 | -0.19<br>(0.13)     |                     | -0.26 *<br>(0.12)   | -0.21<br>(0.12)     | -0.21<br>(0.13)     |                     |                     |
| <b>Ventnoc</b>              | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) |
| <b>Herbassar</b>            |                     |                     | -0.28 *<br>(0.12)   | -0.16<br>(0.16)     | -0.25 *<br>(0.12)   |                     | -0.11<br>(0.17)     |
| <b>Shannon</b>              |                     |                     |                     |                     | -0.19<br>(0.22)     |                     |                     |
| <b>AIC</b>                  | 3567.86             | 3567.93             | 3568.11             | 3568.86             | 3569.35             | 3569.46             | 3569.51             |

| 7/14 models out of 1024 (II) |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                              | Model8              | Model9              | Model10             | Model11             | Model12             | Model13             | Model14             |
| <b>Intercept</b>             | 2.95 ***<br>(0.11)  | 2.95 ***<br>(0.10)  | 2.95 ***<br>(0.10)  | 2.95 ***<br>(0.11)  | 2.95 ***<br>(0.12)  | 2.95 ***<br>(0.10)  | 2.95 ***<br>(0.10)  |
| <b>Altres</b>                | -0.24<br>(0.14)     | -0.27 *<br>(0.11)   | -0.26 *<br>(0.11)   |                     |                     | -0.24<br>(0.13)     | -0.20<br>(0.13)     |
| <b>Bosc</b>                  | 0.43<br>(0.25)      | 0.37 **<br>(0.13)   | 0.40 **<br>(0.12)   | 0.68 **<br>(0.21)   | 0.43 **<br>(0.14)   | 0.44<br>(0.23)      | 0.56 *<br>(0.25)    |
| <b>Hum</b>                   | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) | -0.09 ***<br>(0.02) |
| <b>Tmin</b>                  | -0.12 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.12 ***<br>(0.02) | -0.12 ***<br>(0.02) | -0.13 ***<br>(0.02) | -0.12 ***<br>(0.02) |
| <b>Urbà</b>                  |                     | -0.18<br>(0.13)     | -0.21<br>(0.14)     |                     |                     | -0.18<br>(0.13)     |                     |
| <b>Ventnoc</b>               | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) | -0.18 ***<br>(0.02) |
| <b>Herbassar</b>             |                     |                     |                     | -0.23<br>(0.13)     | -0.29 *<br>(0.14)   |                     |                     |
| <b>Shannon</b>               | -0.16<br>(0.26)     |                     |                     | -0.33<br>(0.22)     |                     | -0.06<br>(0.26)     | -0.39<br>(0.30)     |
| <b>AIC</b>                   | 3569.55             | 3569.55             | 3569.67             | 3569.77             | 3569.80             | 3569.80             | 3569.85             |

Temperatura mínima i intensitat del vent durant la nit són significatives ( $P \leq 0.001$ ) en tots els models de tots els radis estudiats, amb un valor entre -0.12 i -0.13 la temperatura i -0.20 el vent. La humitat relativa presenta una relació negativa significativa en tots els models ( $P \leq 0.001$ ). La variable bosc és significativa en tots els models seleccionats per als radis de 300 i 500 metres en un rang d'entre 0.27 i 0.70 ( $P \leq 0.001$ ). Tot i que la heterogeneïtat en la cobertura del sòl presenta un valor de correlació elevat en 300 metres, és significativa només en 4/7 models i no té significació en cap altre radi. Herbassar presenta valors significatius d'entre -0.25 i -0.33 en 5/7 models per a un radi de 300 metres i, amb menys continuïtat, en 3/14 models en un radi de 500 metres ( $P \leq 0.05$ ).

#### **4.1. Limitacions i propostes de millora**

Les variables meteorològiques que s'han fet servir en aquest treball corresponen a l'estació meteorològica de l'Estartit, que es troba aproximadament a 9 km de l'estació de mostreig més allunyada. En un primer moment es va voler fer servir les dades de l'estació de Torroella de Montgrí, però tot i que es van sol·licitar al Servei Meteorològic de Catalunya, no van arribar a temps.

Per fer un seguiment més afinat de l'entorn de les diferents estacions, hauria estat adequat fer fotografies cada dia de mostreig per poder relacionar les diferents seqüències de creixement de l'arròs i els altres cultius amb les variacions poblacionals dels insectes, així com documentar altres variables com la data d'inundació dels camps, la variació del nivell d'aigua dels canals adjacents a les trampes, l'acumulació de biomassa fruit d'estassades, etc.

## 5. DISCUSSIÓ

Els culícids presents a la zona d'estudi es limiten, segons el SCM, al complex de *Anopheles maculipennis* (en el qual s'inclou *A. atroparvus*), a tres espècies del gènere *Culex* (*C. pipiens*, *C. theileri* i *C. modestus*), *Culiseta longiareolata*, i dues espècies dins el gènere *Aedes* (*A. caspius* i *A. vexans*), essent poc probable trobar-hi exemplars de *A. albopictus*. En general, la variació que hi ha en els nivells d'aigua dels canals i dels propis camps d'arròs fan que aquest últim gènere de mosquits tingui dificultats per establir-se en la zona (Marquès, comunicació personal).

Com s'ha vist en l'apartat anterior, la gran majoria d'individus capturats pertanyien al gènere *Culex*, i la resta de gèneres bé no s'han trobat (com en el cas de *Aedes*) o bé s'han trobat en números molt reduïts. Tot i això, el fet de no haver detectat una espècie amb la metodologia utilitzada no descarta la seva presència en la zona d'estudi. S'han capturat sobretot exemplars del gènere *Culex* en part degut al tipus de trampa emprat. Si s'haguessin fet servir trampes amb llum o, sobretot, amb CO<sub>2</sub> com a atraient, caldria esperar una major diversitat d'espècies capturades (Silver, 2008). Tot i així, en el cas concret del CO<sub>2</sub> i treballant amb sis trampes, se'ns va aconsellar descartar-ho perquè hagués fet la feina de camp massa feixuga.

De manera general, *C. pipiens* és una espècie típicament ornitofílica i rural, mentre que *C. modestus* és majoritàriament antropofílica, i per tant, típica d'ambients més urbans (Reiter, 2001). En aquest treball, tot i que la zona d'estudi és clarament rural, s'ha trobat molta més densitat de la segona espècie que no pas de la primera. Segons el SCM, l'any anterior a aquest estudi semblava que s'havia detectat un cert augment de *C. modestus* als cultius de l'Alt Empordà (Marquès, comunicació personal). Els motius d'aquest canvi són de moment incerts, tot i que els més probables semblen ser la importació d'individus per part dels propis agricultors que es desplacen des del Delta o bé la climatologia tan seca que es va viure a la zona i que devia afavorir el desenvolupament tan sobtat d'aquesta espècie durant l'estiu del 2017.

Pel que fa a l'efecte dels tractaments antilarvaris, la població d'adults segueix el comportament esperat en les dues primeres aplicacions. El dia que es duu a terme el tractament hi haurà un nombre d'individus que finalitzen el cicle de desenvolupament larvari i per tant és normal que hi hagi un cert augment en els adults seguit per una disminució en el seu nombre a mesura que les emergències es vegin retardades degut al tractament. Aproximadament entre 10 i 12 dies després de l'aplicació, serà possible que els ous, que romanen a l'aigua i no es veuen afectats per els tractaments, passin a l'etapa adulta i la població experimenti augments.

La manca d'un efecte clar sobre la població d'adults en el cas de l'últim tractament pot indicar que aquests no arriben a eliminar el 100% de les larves que es troben als punts de cria en el moment de les aplicacions. S'ha de tenir en compte a més, com ja s'ha indicat, que amb la metodologia utilitzada s'ha subestimat la diversitat d'espècies a la zona de mostreig. Cal anotar, però, que el major augment en la detecció d'adults de culícids té lloc després de que els tractaments deixin d'efectuar-se.

De les variables meteorològiques incloses a l'estudi (temperatura mínima, vent nocturn i humitat relativa a les 18h), s'ha trobat un efecte negatiu de la temperatura mínima, diferint del que s'havia afirmat en d'altres estudis, ja que una temperatura elevada causa una acceleració del desenvolupament larvari i un augment en el consum de sang per part de les femelles (Githeko et al., 2000), cosa que fa que es dispersin més per buscar hostes i es pugui veure reflectit en un augment de les captures. La intensitat del vent nocturn presenta una correlació negativa amb el nombre d'adults, concordant amb la hipòtesi inicial i coincidint amb d'altres estudis (Bidleimayer et al., 1995; County & Weicheld, 2015; Dufourd & Dumont, 2013). La humitat relativa presenta també una correlació negativa amb les captures. Tot i que caldria esperar que amb més humitat relativa els mosquits tinguessin més facilitat de dispersió, una disminució en la precipitació es pot associar a una menor densitat de depredadors fent que la població de mosquits augmenti (Epstein, 2001). Cal tenir present els 9 km que separen l'estació meteorològica de la zona de mostreig, i per tant que els valors

meteorològics que s'han tingut en compte en aquest treball poden no coincidir amb els valors reals als arrossars.

Pel que fa a la diversitat d'hàbitats, tot i que no és significativa en la majoria de models seleccionats i només apareix com a significativa en un radi de 300 metres al voltant de les trampes amb una correlació negativa, altres estudis han suggerit que de fet una heterogeneïtat espacial afecta de manera negativa a la captura d'adults (Lacroix et al., 2009). En general, els mosquits adults tendeixen a preferir àrees uniformement vegetades, i com d'altres dípters utilitzen corredors de vegetació per a dispersar-se (Fried et al., 2005), en comptes de fer-ho a través de zones obertes. Això també es pot relacionar amb la significació de l'efecte negatiu de les zones d'herbassar sobre el total d'individus exposada als resultats obtinguts.

En el nostre cas, la variable boscos és significativa en tots els models, amb una correlació positiva amb el nombre d'adults. Dins els boscos els mosquits es troben més protegits vers variables meteorològiques i en general solen establir-se en aquestes zones i limitar la seva dispersió, augmentant les seves captures en les trampes que tenen boscos en un radi que englobi les seves distàncies de vol (Dufourd & Dumont, 2013).

## 6. CONCLUSIONS

In this study we confirm the presence of five culicid species in the Baix Empordà rice fields' area, the majority of which had a very low number of individuals. The dominant species is *C. modestus* over *C. pipiens*.

The anti-larval treatments carried out by the SCM don't seem to eliminate 100% of the culicid larvae, although the highest adult population peak takes place at the beginning of September, when these treatments cease.

We find a negative effect of wind intensity on the trapped adults, and the other meteorological variables show unexpected results, such as a negative effect of high minimum temperature and high relative humidity.

There is a negative correlation between the number of trapped adults and spatial heterogeneity as well as with extensive grass fields, and forested patches cause an increase on the sampled individuals.



## 6. BIBLIOGRAFIA

- Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723.  
<https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Amarasinghe, L. D., & Weerakkodi, W. G. I. S. (2014). Density and Diversity of Mosquito Larvae Associated With Rice Field and Marshland Habitats in Two Climatically Different Areas in Sri Lanka. *International Journal of Entomological Research*, 2(2), 59–71.
- Ávila, C. P. M., Amaro, G. J. C., Antonio, M., & Galera, D. (2013). Determinación Taxonómica De Mosquitos ( Culicinae : Culicidae ) De La Zona Urbana De Chetumal. *Revista Salud Quintana Roo*, (267), 8–13.
- Bidlingmayer, W. L., Day, J. F., & Evans, D. G. (1995). Effect of Wind Velocity on Suction Trap Catches of Some Florida Mosquitos. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 11(3), 295–301.
- County, K., & Weicheld, J. J. (2015). *Impact of Environmental Factors on Mosquito Population Abundance and Distribution in King County, Washington*.
- Crans, W. J. (2004). A classification system for mosquito life cycles: life cycle types for mosquitoes of the northeastern United States. *Journal of Vector Ecology : Journal of the Society for Vector Ecology*, 29(1), 1–10.
- Dufourd, C., & Dumont, Y. (2013). Impact of environmental factors on mosquito dispersal in the prospect of sterile insect technique control. *Computers & Mathematics With Applications*, 66(9), 1695–1715.  
<https://doi.org/10.1016/j.camwa.2013.03.024>

- Foster, W. A. (1995). Mosquito Sugar Feeding and Reproductive Energetics. *Annual Review of Entomology*, 40(1), 443–474. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.40.1.443>
- Fried, J. H., Levey, D. J., & Hogsette, J. A. (2005). Habitat corridors function as both drift fences and movement conduits for dispersing flies. *Oecologia*, 143(4), 645–651. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0023-6>
- Githeko, A. K., Lindsay, S. W., Confalonieri, U. E., & Patz, J. A. (2000). Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *World Health Organization*, 78(9), 1136–1147.
- Lacroix, R., Delatte, H., & Hue, T. (2009). Dispersal and Survival of Male and Female *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) on Réunion Island. *Journal of Medical Entomology*, 46(5), 1117–1124.
- R. González, C., Reyes, C., Jercic, M. I., Rada, V., Saldarriaga, M., Pavletic, C., & Parra, A. (2016). *Manual de culícidos (Diptera: Culicidae) de la zona norte y centro de Chile, incluyendo Isla de Pascua*.
- Reeves, W. C., Brookman, B., & Hooman, W. M. (1948). Studies on the flight range of certain *Culex* mosquitoes, using a fluorescent dye-marker, with notes on *Culiseta* and *Anopheles*. *Mosquito News*. Retrieved from [https://ia600706.us.archive.org/12/items/cbarchive\\_118391\\_studiesonthefli ghtrangeofcerta1948/MN\\_V8\\_N2\\_P061-069.pdf](https://ia600706.us.archive.org/12/items/cbarchive_118391_studiesonthefli ghtrangeofcerta1948/MN_V8_N2_P061-069.pdf)
- Reiter, P. (2001). Climate change and mosquito-borne disease. *Environmental Health Perspectives*, 109(SUPPL. 1), 141–161. <https://doi.org/10.2307/3434853>
- Richards, E. E., Masuoka, P., Brett-Major, D., Smith, M., Klein, T. A., Kim, H. C., ... Grieco, J. (2010). The relationship between mosquito abundance and rice field density in the Republic of Korea. *International Journal of Health Geographics*, 9(Cdc), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-23>

- Schlein, Y., & Muller, G. (1995). Assessment of Plant Tissue Feeding by Sand Flies (Diptera : Psychodidae) and Mosquitoes (Diptera : Culicidae), *32*(6), 882–887.
- Service, M. W. (2008). Introduction to mosquitoes (Culicidae). *Cambridge University Press*, 10. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811012.005>
- Silver, J. B. (2008). *Mosquito Ecology* (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6666-5>
- Tsuda, Y., Komagata, O., Kasai, S., Hayashi, T., Nihei, N., Saito, K., ... Kobayashi, M. (2008). A Mark–Release–Recapture Study on Dispersal and Flight Distance of *Culex pipiens pallens* in an Urban Area of Japan. *Journal of the American Mosquito Control Association*, *24*(3), 339–343. <https://doi.org/10.2987/5754.1>
- Tyson. (2016). General Mosquito Anatomy. Retrieved July 10, 2018, from <http://tacticalmosquitocontrol.com/mosquito-anatomy/>
- Wahid, I., Sunahara, T., & Mogi, M. (2003). Maxillae and Mandibles of Male Mosquitoes and Female Autogenous Mosquitoes (Diptera: Culicidae). *Journal of Medical Entomology*, *40*(2), 150–158. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-40.2.150>
- Weaver, S. C. (2005). Host range, amplification and arboviral disease emergence. *Archives of Virology. Supplementum*, (19), 33–44. <https://doi.org/10.1007/3-211-29981-5>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Smith, G. M. (2007). *Analyzing Ecological Data. Methods*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387667-6.00013-0>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed Effects Modelling for Nested Data*. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-0-387-87458-6_5)