

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau en Enginyeria Agroalimentària

**Títol:** OPTIMITZACIÓ DE LA BIOCONVERSIÓ MITJANÇANT LA MOSCA SOLDAT NEGRA (*Hermetia illucens*), EN CONDICIONS CONTROLADES, PER AUGMENTAR L'EFICÀCIA DEL COMPOSTATGE DE RESIDUS ORGÀNICS

**Document:** Memòria.

**Alumne:** Emma Martínez i Villanueva.

**Directora:** Dra. Cristina Castañé Fernández (IRTA-Cabrils)

**Tutor:** Dr. Isidre Llorente Cabratosa

**Departament:** Eng. Química, Agrària i Tecnologia Agroalimentària.

**Àrea:** Producció vegetal.

**Convocatòria (mes/any):** Setembre 2022.

# ÍNDIX

|  |    |
|--|----|
| <b>RESUM</b> .....   | 3  |
| <b>PARAULES CLAU</b> .....   | 4  |
| <b>AGRAÏMENTS</b> .....  | 5  |
| <b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....  | 6  |
| 1.1. Problemàtica dels residus a la cooperativa Conca de la Tordera.....   | 6  |
| 1.2. Generalitats de l' <i>Hermetia Illucens</i> .....   | 8  |
| 1.2.1. Taxonomia .....   | 8  |
| 1.2.2. Cicle biològic .....  | 9  |
| 1.2.3. Aplicacions de les larves d' <i>Hermetia illucens</i> .....   | 13 |
| <b>2. OBJECTIUS</b> .....  | 15 |
| <b>3. MATERIALS I MÈTODES</b> .....  | 16 |
| 3.1. Preparació del substrat de porro .....  | 16 |
| 3.2. Pes sec del porro ofert.....  | 19 |
| 3.3. Desenvolupament de les larves d' <i>Hermetia illucens</i> en el porro.....                                    | 20 |
| 3.4. Avaluació del residu resultant de la bioconversió.....  | 22 |
| 3.5. Anàlisi de les dades.....   | 22 |
| <b>4. RESULTATS</b> .....  | 24 |
| 4.1. Humitat relativa del substrat de porro ofert.....   | 24 |
| 4.2. Efecte de la humitat relativa del substrat i de la densitat larvària en el desenvolupament de les larves..... | 25 |
| 4.3. Caracterització del residu resultant de la biotransformació .....   | 30 |
| 4.3.1. Efecte de les larves sobre el substrat de porro .....   | 30 |
| 4.4. Humitat relativa del substrat de porro resultant .....  | 31 |
| <b>5. DISCUSSIÓ</b> .....  | 35 |
| <b>6. APLICABILITAT</b> .....  | 36 |
| <b>7. CONCLUSIONS</b> .....  | 37 |
| <b>8. BIBLIOGRAFIA</b> .....   | 38 |

# RESUM

Aquest treball es basa en la necessitat de fer recerca per millorar l'eficàcia del compostatge de residu orgànic a través de la utilització de les larves d'*Hermetia illucens*. La situació actual promou la cerca de possibles solucions a l'acumulació de residus sense aprofitament, i d'aquesta manera evitar que s'aboquin o incinerin.

El treball és un estudi que es basa en avaluar l'efecte descomponedor del substrat de porro amb tres percentatges d'humitats diferents (85%, 78% i 70%) per l'acció de les larves d'*Hermetia illucens* a dues densitats diferents 150 L1 i 350 L1. La larva utilitzada l'*Hermetia illucens* és un dípter estratiomíid (Diptera, Stratiomyidae) vulgarment conegut com a "mosca soldat negra". Els estadis larvaris d'aquesta, poden alimentar-se de multitud de restes orgàniques de diversos orígens, és per això que aquesta espècie presenta molt d'interès a ser usada en la descomposició d'aquests materials. Els assajos per dur a terme aquest treball es van realitzar en les instal·lacions de l'IRTA de Cabriels. Les restes de porro emprades procedien de la Cooperativa Conca de la Tordera.

L'assaig es va desenvolupar des de principis de març fins a finals de maig de 2022. Segons els resultats obtinguts, l'ús de les larves va assolir resultats positius en ajudar a reduir el volum de porro. Assolint que com a major fos el nombre de larves sembrades, major era la reducció. Això sempre era així, menys quan el substrat era molt sec. Important saber que va ser necessari disminuir el contingut de líquid de la mostra inicial, per tal que les larves es poguessin desenvolupar. Finalment, les larves d'*Hermetia illucens*, van exercir una molt bona acció en la bioconversió del porro, obtenint un producte final, utilitzable com a compost.

# PARAULES CLAU

*Hermetia Illucens*

*Mosca soldat negra*

*Bioconversió*

*Residus vegetals de porro*

*Minva de producció*

# AGRAÏMENTS

Hi ha treballs i treballs, experiències i experiències, però aquesta oportunitat de recerca ha estat realment única.

En primer lloc, m'agradaria agrair al Sr. Jordi Ariño Armengol, el meu cap a l'empresa on actualment treballo, per l'ajut que he rebut, la dedicació i la confiança dipositada en mi. Per obrir-me portes, i facilitar-me la feina.

Voldria agrair a la Dra. Cristina Castañé Fernández, directora d'aquest treball, l'esforç, paciència, i totes les hores dedicades a l'assaig i a mi; realment la seva aportació i experiència ha estat molt enriquidora.

Gràcies també al grup de tècnics d'entomologia de l'IRTA de Cabrils per proporcionar-me tot el suport, l'ajuda, l'experiència i l'estima per fer les coses.

Finalment el meu sincer agraïment a totes les persones que m'han donat suport, que han estat allà per treure'm un somriure en els moments més complicats i que quan he necessitat ajuda sempre han estat disposats a donar-me-la. En especial, els hi agraeixo profundament l'amor, la preocupació, l'optimisme i els valors que m'han inculcat com l'esforç i el sacrifici, a la meva parella Jose Sierra, al meu pare Carles Martínez, a la meva mare Carmen Villanueva i al meu germà Hèctor Martínez.

A tots ells, per tot el que han estat, moltes gràcies.

# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. Problemàtica dels residus a la cooperativa Conca de la Tordera

Conca de la Tordera és una cooperativa de 80 treballadors que reuneix agricultors de l'alt Maresme i la Selva, de municipis com Palafolls, Malgrat, Santa Susanna, Tordera i Blanes. Com el seu nom indica, la majoria de finques dels associats es troben a la conca del riu Tordera, especialment en la part final, on les terres són més fèrtils. Històricament, Conca de la Tordera és la unió l'any 2012, de dues cooperatives amb una llarga tradició a la zona. La Cooperativa de Pagesos de Palafolls que va ser fundada a principis del segle XX i la Cooperativa Agrícola de Blanes fundada a finals del segle XIX. A la cooperativa Conca de la Tordera s'encarreguen de rebre i emmagatzemar la producció hortícola d'aquests pagesos en dos magatzems (*figura 1*).



Figura 1: Cooperativa Conca de la Tordera (*Sanz, 2022*).

La manipulació i distribució és d'aproximadament un 80% del producte a grans cadenes de supermercats. Motiu pel qual hi ha molta exigència i també molta minva de producte (Federació de cooperatives agràries de Catalunya, 2015).

A la cooperativa, es treballa amb cultius de temporada, amb predomini dels de fulla a la tardor i l'hivern (enciam, col, cebes i porro), i productes de fruit (tomàquet, pebrot i albergínia), a l'estiu (Conca de la Tordera, 2018).

Els dos productes principals treballats avui en dia a la cooperativa són el tomacó i el porro. Pel que fa, al tomacó se'n comercialitzen 2.438.000 kg cada any, generant aproximadament una minva de 268.000 kg (un 11%). El procés consisteix en separar els tomàquets que són aptes pel consum d'aquells que no ho són (*figura 2*). Avaluant la mida, la forma, el color i la sanitat.



Figura 2: Tomàquets descartat per a la comercialització (*IRTA,2022*).

En el cas del porro, se'n comercialitzen 282.974 kg l'any i es genera una minva de 50.176 kg (un 18%) (*figura 3*). Aquesta minva és generada a partir de la separació de la part apta per a la comercialització i la part que no. Per això, cal tallar la part on comencen a obrir-se les fulles i just per sobre de les arrels. Aquests dos productes són els que més producció generen en la cooperativa i els residus són, per tant, un problema. S'estan buscant mètodes adequats per solucionar-ho.



Figura 3: Separació del porro per comercialitzar (IRTA, 2022).

## 1.2. Generalitats de l'*Hermetia Illucens*

La mosca soldat negra (*Hermetia illucens*) és una de les 5 espècies que pertanyen a la subfamília Hermetiinae de l'ordre Díptera estratiomid. Existeixen quatre gèneres més, que són *Chaetosargus*, *Patagiomyia*, *Chaetohermestia* i *Notohermetia*; però l'espècie més àmpliament distribuïda entre aquestes 5, és l'*Hermetia illucens* (Cabrera i López, 2021).

Aquesta espècie, que és d'origen tropical, es troba present en totes les regions biogeogràfiques del planeta, especialment en zones càlides, a causa del transport accidental i de la seva introducció deliberada amb diferents usos (Gobbi, 2012).

### 1.2.1. Taxonomia

- ↳ Animals (Regne Animalia)
- ↳ Insectes, Aaràcnids i Crustàcis (Filo Artròpoda)
- ↳ Hexàpodes (Subfilo Hexàpoda)
- ↳ Insectes (Classe insecte)
- ↳ Insectes alats (subclasse Pterigota)
- ↳ Mosques i Mosquits (ordre Díptera)
- ↳ Subordre Brachycera
- ↳ Infraordre Orthorrhapha



- ↳ Pavordeen Stratiomymorpha
- ↳ Mosques Soldat (Família Stratiomyidae)
- ↳ Subfamília Hermetiinae
- ↳ Gènere Hermetia
- ↳ Espècie *Hermetia illucens*

### 1.2.2. Cicle biològic

La mosca soldat negra consta de 5 estadis del desenvolupament (*figura 4*): els ous, les larves, les prepupes, les pupes i els adults. La fase d'ou i d'adult, són les etapes més curtes del cicle, mentre que la fase larvària i de pupa són llargues i dependents de les condicions del substrat sobre el qual es desenvolupen.



Figura 4: Estadis larvaris i fase adulta de l'*Hermetia illucens* (Font pròpia).

La femella de la mosca soldat negra pon des de 400 fins a 800 ous en residus orgànics en descomposició, en cavitats petites, seques i protegides. Al cap de poc temps de pondre'ls la femella mort. La proximitat dels ous a la matèria orgànica en descomposició, assegura que les larves tinguin la seva primera font d'aliment a prop després de l'eclosió (Dortmans & Diener. 2017).

L'ou (*figura 5*) té una forma ovalada de color groc pàl·lid o blanc cremós amb 1 mm de longitud i es converteixen en larves en aproximadament 4 dies (Díclaro & Kaufman. 2009).



Figura 5: Posta d'ous de *l'Hermetia Illucens* d'aproximadament 4 dies (*Font pròpia*).

Durant el seu desenvolupament, les larves passen per 6 estadis, amb un període d'entre 14 i 20 dies en condicions favorables. (Singh & Kumari, 2019). Aquestes larves (*figura 6*) poden arribar a una llargada de fins a 27 mm i una amplada de 6 mm, amb el cap més ample i punxegut.

Existeix bibliografia que indica que a baixa temperatura i a baixa disponibilitat d'aliments, aquestes poden allargar el seu cicle fins a quatre mesos (Singh & Kumari, 2019). Tanmateix, el desenvolupament d'aquestes depèn de la qualitat dels aliments.



Figura 6: Estadi larvari de *l'Hermetia illucens* (*Font pròpia*).

L'últim estadi larvari és la prepupa (*figura 7*). En transformar-se en prepupa, la larva reemplaça la mandíbula per una estructura en forma de ganxo per excavar (Díclaro &

Kaufman. 2009) i es tornen de color marró fosc a gris carbó. Utilitzen el ganxo per moure's fàcilment cap a fora, des de la font d'aliment fins a un entorn sec i proper, per poder passar a la fase pupa sense obstacles (Dortmans & Diener. 2017).



Figura 7: Estadi prepupa de *Hermetia illucens*. (Font pròpia).

El procés de pupació (*figura 8*), és la transformació d'una larva en un adult, en aquest cas d'una mosca. Aquesta etapa s'inicia quan la prepupa arriba a la seva mida màxima, troba un lloc adequat i finalment es torna immòbil i rígida. Les pupes són aprofitades pel seu contingut en proteïna, que varia (36% i 48%) i el seu contingut de grasses que representa el (33%). La metamorfosis triga al voltant de dues setmanes per transformar-se en adult, i l'adult (mosca) triga menys de cinc minuts en obrir la part de la pupa que acostuma a ser la part del cap per sortir.



Figura 8: Estadi pupa de l'*Hermetia illucens*. (Font pròpia).

Es destaca que l'adult (*figura 9*) no posseeix sistema digestiu o agulló, i només s'alimenta d'aigua o de sucres per la qual cosa no representa una amenaça pels éssers humans (Singh & Kumari, 2019).

El color de les mosques pot variar entre negre, verd i blau, sovint amb aspecte metàl·lic, tenen aparença semblant a les vespes i un so igual de fort en volar. Tenen dues ales translúcides situades en el primer segment toràcic. La seva longitud pot variar de 15 a 20 mm. Les antenes de l'adult són allargades amb tres segments i les potes tenen una coloració blanca a prop del final de cada pota (Díclaro & Kaufman, 2009).

Les mosques adultes, generalment passen el dia descansant sobre la vegetació, aparellant-se dos dies després d'haver emergit i al cap de quatre dies aproximadament s'inicia l'oviposició (Cabrera & Lopez, 2021).



Figura 9: Estadi adult de l'*Hermetia illucens*. (Font pròpia).

### 1.2.3. Aplicacions de les larves d'*Hermetia illucens*

La mosca soldat negra es troba a la natura en una ampla varietat d'hàbitats. Aquesta espècie no se la coneix com a possible transmissor de malalties i és per això que pot participar en la transformació de material vegetal i en la producció d'aliments d'alta qualitat (Arango & Vergara, 2004).

Avui dia, la larva de mosca soldat negra té una aplicació més interessant, ja que tenen un perfil lipídic i una composició peculiar que permet ser utilitzada per diferents usos. Principalment, el procés de la bioconversió, a través de les larves de mosca soldat negra, és una opció molt atractiva, considerant que representa una valuosa solució a dos problemes: la gestió dels residus, per un cantó i per l'altre, l'augment de la demanda mundial de pinsos (les larves seques poden ser usades en la producció de pinsos per l'agricultura). Per aquesta bioconversió, les larves de mosca soldat negra tenen un intestí mitjà dividit en tres regions diferenciades segons el pH. Aquest pH juga un paper molt important, ja que a l'haver-hi variacions durant el transcurs de l'aliment es pot veure afectada l'activitat enzimàtica, la solubilitat dels nutrients, i la desintoxicació dels compostos ingerits amb el substrat (Salomone. 2016).

Segons la UNI EN 14214, les larves seques són potencialment riques en greix i, per tant, són utilitzables per a la producció de biodièsel com a cosmètics per a la cura de la pell, i com a medicaments gràcies a la quitina amb funció quelant (Adelmo. 2022).

En tots els casos és molt important la composició dels substrats, ja que podria tenir un impacte en el desenvolupament de la larva, en la supervivència, la composició nutricional i en la bioconversió del substrat.

Depenent del tipus de substrat, el desenvolupament de les larves pot tenir un termini d'entre dues setmanes, fins a diversos mesos, i aquestes larves poden tenir continguts proteics que poden oscil·lar en el seu percentatge de pes corporal. Un factor important en l'eficiència de la degradació del substrat és el seu contingut en líquids. Així, a la literatura es recomana utilitzar substrats amb una humitat relativa per sota del 80%. També és crític oferir a les larves substrat vegetal triturat, perquè així augmenta l'eficiència de bioconversió (Julita et al. 2019).

El present TFG és centrà en l'ús de l'*Hermetia illucens* per a la bioconversió de material vegetal.

## 2. OBJECTIUS

L'objectiu principal va consistir a avaluar l'eficiència de les larves de la mosca soldat negra en la bioconversió del residu de porro.

Per assolir aquest objectiu general es van plantejar els següents objectius específics:

1. Avaluar l'efecte de la humitat (70,78 i 85%) del porro en l'eficiència de la bioconversió.
2. Avaluar l'efecte de dues densitats de larves (150 i 350 larves) en la bioconversió del substrat.
3. Caracteritzar el residu final de la bioconversió en quant al contingut en matèria seca.

### 3. MATERIALS I MÈTODES

El treball es va realitzar en el laboratori d'entomologia del Programa de Protecció Vegetal Sostenible de l'IRTA, al Centre de Cabrils. Es va iniciar a finals de març i va finalitzar a principis de maig.

#### 3.1.Preparació del substrat de porro

Les restes de porro provinents de la cooperativa Conca de la Tordera es van processar per tal de fer-les aptes per la bioconversió per les larves. Per això, les restes es van triturar amb una trituradora convencional (*figura 10*) per a restes de poda. Va ser necessari passar el residu dos cops per la trituradora, ja que d'aquesta manera s'aconseguia un residu el més fi possible, i les larves ho podien degradar amb més facilitat. Un cop triturat, era possible reduir el contingut de líquid del substrat.



Figura 10: Trituradora convencional per a les restes de poda (*Font pròpia*).

El residu, en sortir de la trituradora, es va recollir sobre un plàstic gran i es va guardar en galledes per després extreure líquid i deixar-lo a una humitat menor.



Dades prèvies de l'equip de l'IRTA indicaven que el porro sencer tenia una humitat relativa del 89%. Així, per oferir a les larves un substrat d'una humitat relativa inferior, era necessari eliminar una certa quantitat de líquid. Es van fer algunes proves prèvies on es va calcular (calculant el pes sec) que per tenir un substrat del 85%, era necessari extreure 250 ml de líquid/1000 g, per tenir un del 78% era necessari extreure 500 ml de líquid/1000 g i per tenir un del 70% era necessari extreure 630 ml de líquid/1000 g. Així, es van processar les restes de porro perquè tinguessin aquestes humitats. Es va tornar a calcular la humitat del substrat ofert, mitjançant el càlcul del seu pes sec, tant del substrat sencer sense triturar, com del triturat sense extreure líquid, com del substrat al qual se li va extreure líquid per ajustar-lo al 85%, al 78% i al 70% d'humitat. Amb un sedàs (*figura 11*), es va separar el líquid del sòlid (250 ml/1000 g) de manera manual per tenir una mostra del 85%.



Figura 11: Galleda i sedàs per separar part sòlid i líquida del substrat de porro (A). Líquid resultant de l'extracció (B). (*Font pròpia*).

A partir del substrat obtingut al 85% d'humitat, es van extreure 250 ml (500 ml respecte al substrat inicial), per obtenir un substrat amb una humitat del 78% (*figura 12*).



Figura 12: Malla i galleda per l'extracció del líquid d'un substrat de porro per al 78% HR (*Font pròpia*).

Finalment, a partir d'una mostra de porro del 78%, i utilitzant una premsa hidràulica del laboratori de l'IRTA, es va procedir a obtenir una mostra amb un contingut d'humitat del 70%. Es van extreure 130 ml de líquid (630 ml respecte al substrat inicial) (*figura 13*).



Figura 13: Premsa hidràulica de laboratori de Mas Bover (*Font pròpia*).

Tots aquests substrats generats en diferents condicions d'humitat es van conservar congelats en bosses de plàstic (*figura 14*) fins a la seva utilització.



Figura 14: Substrat en bosses de plàstic per conservar congelats a 4 °C (*Font pròpia*).

### 3.2. Pes sec del porro ofert

Per conèixer el percentatge d'humitat de les diferents mostres, es va calcular el pes sec. Es va pesar 100 g de substrat en una safata d'alumini (*figura 15*) i es van posar a assecar en una estufa a 60 °C durant 3-4 dies, fins a tenir un pes constant. Després es van tornar a pesar (*figura 16*). A partir d'aquest pes sec, es va calcular el percentatge d'humitat de la mostra amb l'equació:

$$\% \text{ Humitat} = \frac{\text{Pes humit (g)} - \text{pes sec(g)}}{\text{Pes humit (g)}} * 100$$



Figura 15: Safates amb substrat de porro triturat dins l'estufa a 60°C (Font pròpia).



Figura 16: Safates amb porro després d'haver estat assecat a 60°C a l'estufa (Font pròpia).

Es va avaluar el pes sec del porro sense triturar, del porro un cop triturat però sense extreure cap líquid i també del porro triturat després d'extreure les diferents quantitats de líquids anomenats prèviament. Es van fer 8 rèpliques per cada humitat assajada.

### 3.3. Desenvolupament de les larves d'*Hermetia illucens* en el porro

Es van preparar terrines de plàstic amb 50 g de cada substrat de porro de les diferents humitats: 85%, 78% i 70%. Es van sembrar larves acabades d'emergir de l'ou (L<sub>1</sub>) amb una densitat de 150 larves o de 350 larves per terrina. En total es van fer 5 repeticions

per tractament, és a dir per cada humitat i per cada densitat larvària. Per sembrar les larves, es va utilitzar un pinzell fi, amb l'objectiu de no danyar-les.

En la Figura 17 es pot veure la lupa binocular i la safata negra que es feia servir per veure-les millor, ja que eren molt petites.

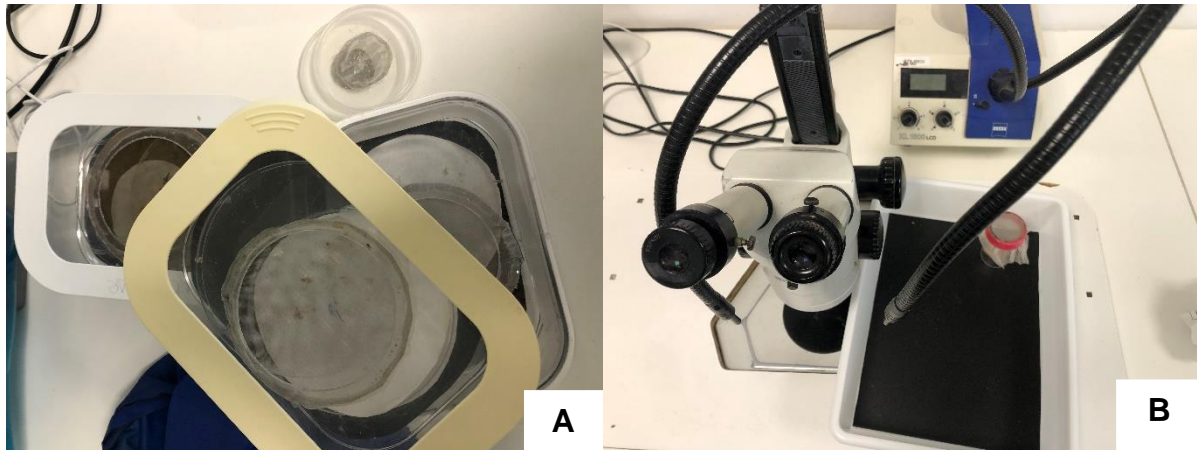


Figura 17: Caixa amb posta d'ous d'*Hermetia illucens* d'on es recollien les larves L<sub>1</sub> recent emergides (A) Lupa binocular i safata negra (B) (Font pròpia).

Les terrines es van deixar a la cambra de 28 °C durant una setmana, i després es va fer un canvi de terrina a una altra més gran de 1400 cc de capacitat. Les larves ja havien crescut, i és per això que es van afegir 100 g més de dieta per terrina, i entre 3 i 4 dies més tard, es va tornar a afegir 100 g. Finalment, l'última aportació, va ser al cap de quatre dies en què s'hi van afegir 250 g per completar els 500 g de substrat. Passats els vint dies necessaris perquè les larves arribessin a l'últim estadi larvari, aquestes es van separar del residu de porro. Per fer-ho, les terrines es van abocar en una safata i les larves es van anar recollint de manera manual (figura 18). Un cop les larves ja estaven separades, es van contar, netejar, i finalment es van pesar (pes fresc). Després van ser posades en bosses de plàstic, i es van guardar al congelador per mesurar-les.

Per avaluar la seva mida es van agafar dues larves a l'atzar, de cada rèplica i de cada tractament, amb l'ajuda d'un regla es va mesurar la seva longitud i l'amplada.

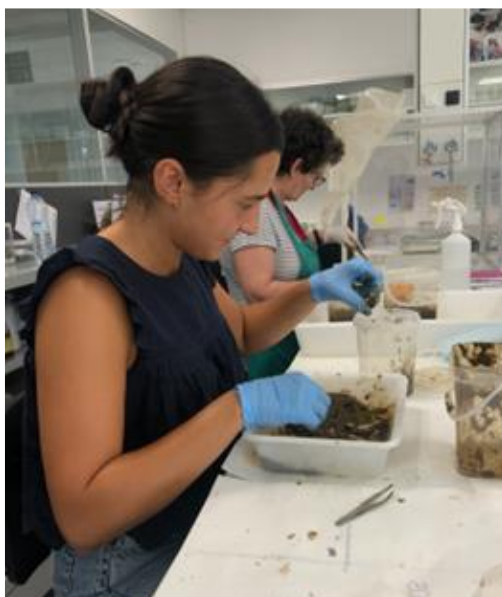


Figura 18: Procés de separació i recompte de les larves de forma manual. (*Font pròpia*).

### 3.4. Avaluació del residu resultant de la bioconversió

Del residu deixat per les larves en cada tractament es va anotar el seu color, la textura i l'olor. També es va pesar i es va calcular el percentatge de matèria seca d'aquest residu resultant de la bioconversió. Per això, es va posar a l'estufa de 60°C durant 3-4 dies i després es va tornar a pesar.

### 3.5. Anàlisi de les dades

Per a realitzar l'anàlisi estadístic es van utilitzar les dades extretes de 6 tractaments (150 i 350 larves en estadi L<sub>1</sub> sembrades i substrats al 70%, 78% i 85% d'humitat relatives) i les 6 variables (número de larves de l'últim estadi produïdes, percentatge de mortalitat larvària (%), pes fresc de les larves, pes sec de les larves, mida de les larves, substrat consumit per larva). Les variables es van analitzar mitjançant l'anàlisi de variància ANOVA i una prova de comparació de mitjanes (Tukey). Abans de processar les dades, es va realitzar el test de normalitat (Shapiro-Wilk,) i la prova

d'homoscedasticitat de variàncies de (Levene). Aquelles variables que no complien aquestes condicions, es van transformar ( $\log_{10} x+1$ ).

A partir dels resultats obtinguts es va determinar que, el valor corresponent a la rèplica tres del tractament de 150 larves en el substrat del 70% era més correcte eliminar-lo, perquè s'apartava de forma molt significativa de la resta i, per tant, es tractava d'un valor clarament resultant d'un error de mesura, que condicionava els resultats del conjunt de valors.

Tot l'anàlisi estadístics es va realitzar mitjançant el programari JMP (SAS 9.4.).

Les variables pes fresc i pes sec del substrat abans i després de la bioconversió no es van analitzar estadísticament.

## 4. RESULTATS

### 4.1. Humitat relativa del substrat de porro ofert

El pes sec del substrat (mitjanes  $\pm$  Error típic) es mostra a la taula 1. El porro sencer sense triturar, va tenir un percentatge d'humitat del 89%. Pel que fa al substrat un cop triturat, el percentatge d'humitat es va reduir lleugerament fins al 88% per les pròpies pèrdues del procés de triturat. La mostra del 85% d'humitat va donar una humitat superior a la suposada i va ser del 87%. La mostra del 78% d'humitat va donar una humitat superior a la suposada i va ser del 85%. Finalment, la mostra del 70% d'humitat va donar una humitat superior a la suposada i va ser del 80%.

Per tant, les humitats obtingudes en aquest treball van ser superiors a les calculades amb les dades prèvies de l'IRTA. A partir d'ara s'anomenaran en els resultats les humitats reals obtingudes i no les teòriques.

Taula 1: Mitjanes ( $\pm$  Error típic) del pes fresc, pes sec i de la humitat relativa del porro sencer, porro triturat sense extreure aigua i porro un cop extretes les diferents quantitats d'aigua.

| SUBSTRAT                    | PES FRESC (g)      | PES SEC (g)        | HUMITAT (%) |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|-------------|
| Sense triturar              | 101.36 $\pm$ 0,203 | 11,03 $\pm$ 0,270  | 89          |
| Triturat                    | 100,70 $\pm$ 0,147 | 11,99 $\pm$ 0,109  | 88          |
| Triturat al 85%<br>humitat  | 101,12 $\pm$ 0,219 | 12,69 $\pm$ 0,159  | 87          |
| Triturat al 78%<br>humitat  | 101,14 $\pm$ 0,179 | 15,60 $\pm$ 0,160  | 85          |
| Triturat al 70<br>% humitat | 100,32 $\pm$ 0,787 | 20,095 $\pm$ 0,366 | 80          |



## 4.2. Efecte de la humitat relativa del substrat i de la densitat larvària en el desenvolupament de les larves

- Número de larves d'últim estadi produïdes

Les larves vives recuperades de cadascun dels tractaments van ser significativament diferents ( $F= 27.71$ ;  $gdl= 5, 23$ ;  $P<0.0001$ ) pel factor densitat de larves, però no pel factor humitat del porro (*figura 19*). La diferència en el número de larves es deu al fet que en un cas es van sembrar 150 L<sub>1</sub> i en l'altre 350 L<sub>1</sub>.

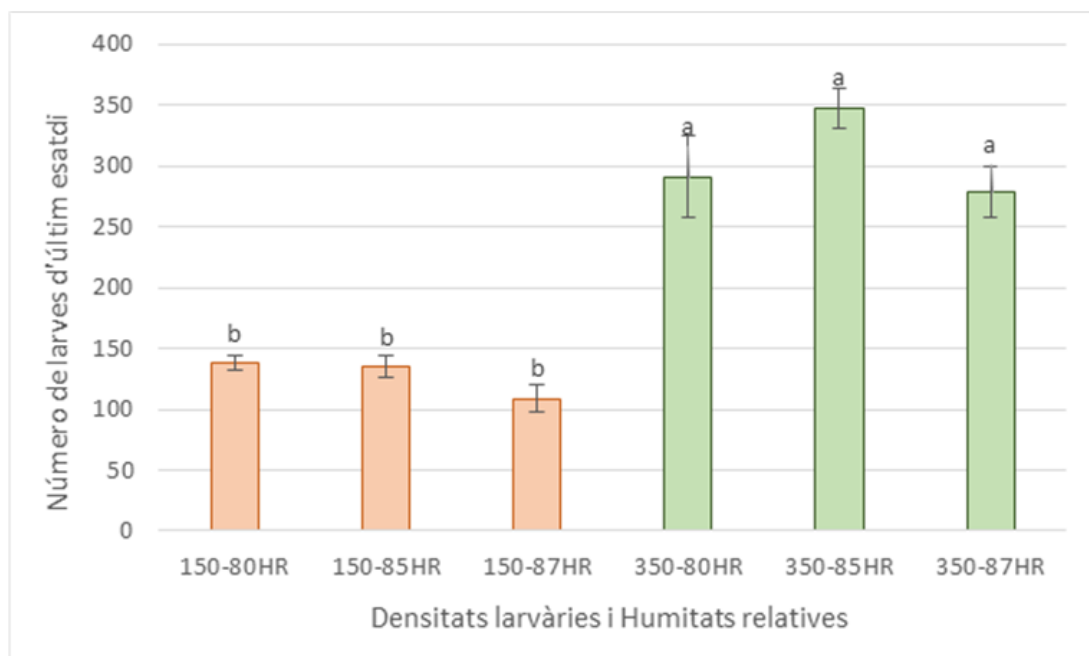


Figura 19: Mitjanes ( $\pm$  Error típic) del número de larves d'últim estadi recuperades al final de la bioconversió en els diferents tractaments. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament ( $P=0.05$ ) ( $n=5$ ).

- Percentatge de mortalitat de les larves (%)

Quan es va determinar el percentatge de mortalitat de les larves es va veure que no existien diferències significatives entre els diferents tractaments ( $F=1.35$ ;  $gdl=5, 23$ ;  $P=0.2777$ ) (*figura 20*). Per tant, ni el percentatge d'humitat del porro ni la densitat larvària assajada van influir en la mortalitat de les larves.

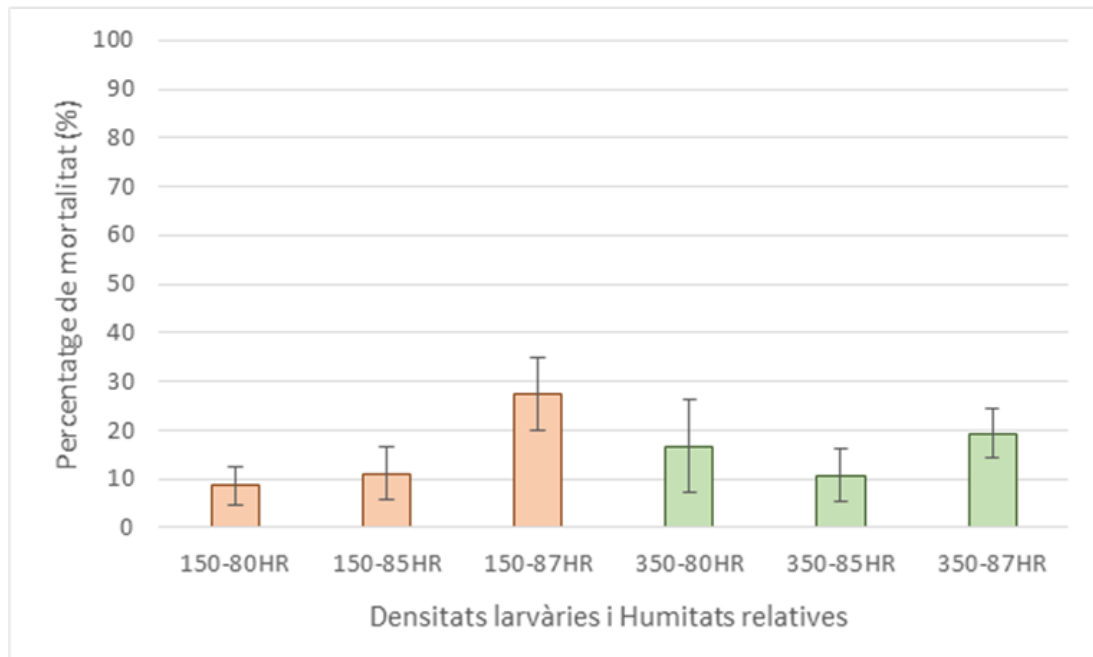


Figura 20: Mitjanes ( $\pm$  Error típic) del percentatge de mortalitat dels diferents tractaments. No hi ha diferències significatives entre tractaments ( $P=0.05$ ) ( $n=5$ ).

- Pes fresc de les larves

Quan es van pesar les larves dels diferents tractaments es va veure que hi havia diferències significatives ( $F= 26.35$ ;  $gdl=5, 23$ ;  $P<0.0001$ ) (figura 21). Les larves amb més pes van ser les del tractament 150-85% HR seguides de les del tractament 150-87% HR. Les menys pesades van ser les del tractament 350-80% (0,146 g). Per tant, la humitat més baixa del substrat (80%) no va ser la que va produir les larves més pesades, en contra de l'esperat.

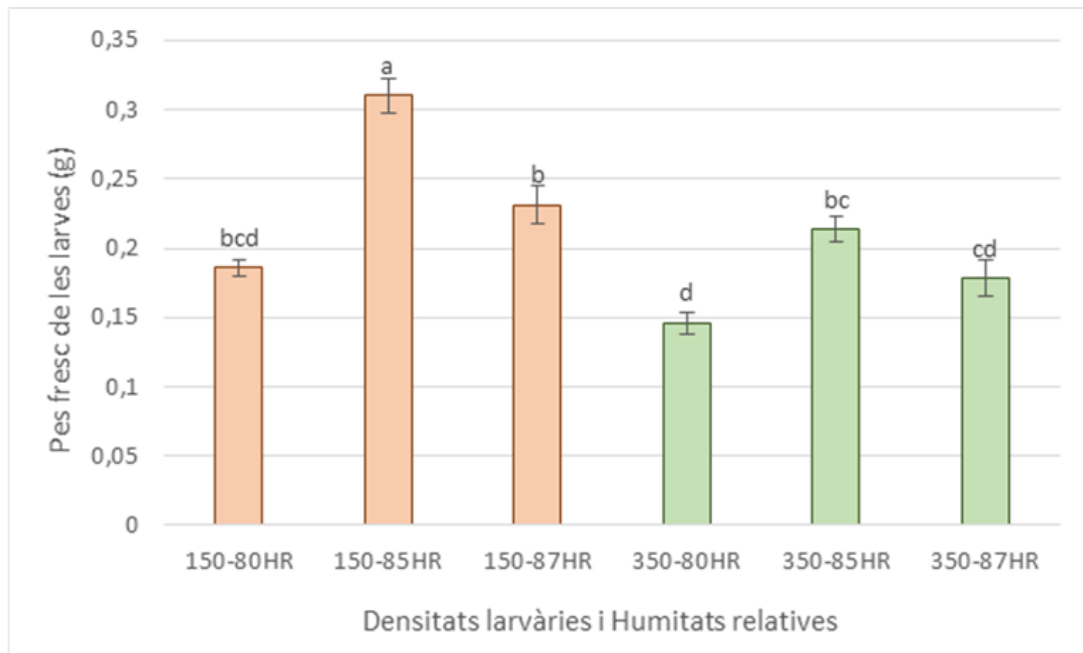


Figura 21: Mitjanes ( $\pm$  Error típic) del pes fresc de les larves d'últim estadi recuperades al final de la bioconversió en els diferents tractaments. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament ( $P=0.05$ ) ( $n=5$ )..

- Pes sec de les larves

Quan es va calcular el pes sec de les larves dels diferents tractaments es va veure que hi havia diferències significatives ( $F= 30.87$ ;  $gdl=5, 23$ ;  $P<0.0001$ ) (*figura 22*). Com també en el cas del pes fresc, les larves amb el pes sec més alt van ser les del tractament 150-85% HR seguides de les del tractament 150-87% HR. Les menys pesades van ser les del tractament 350-80% (0,037 g).

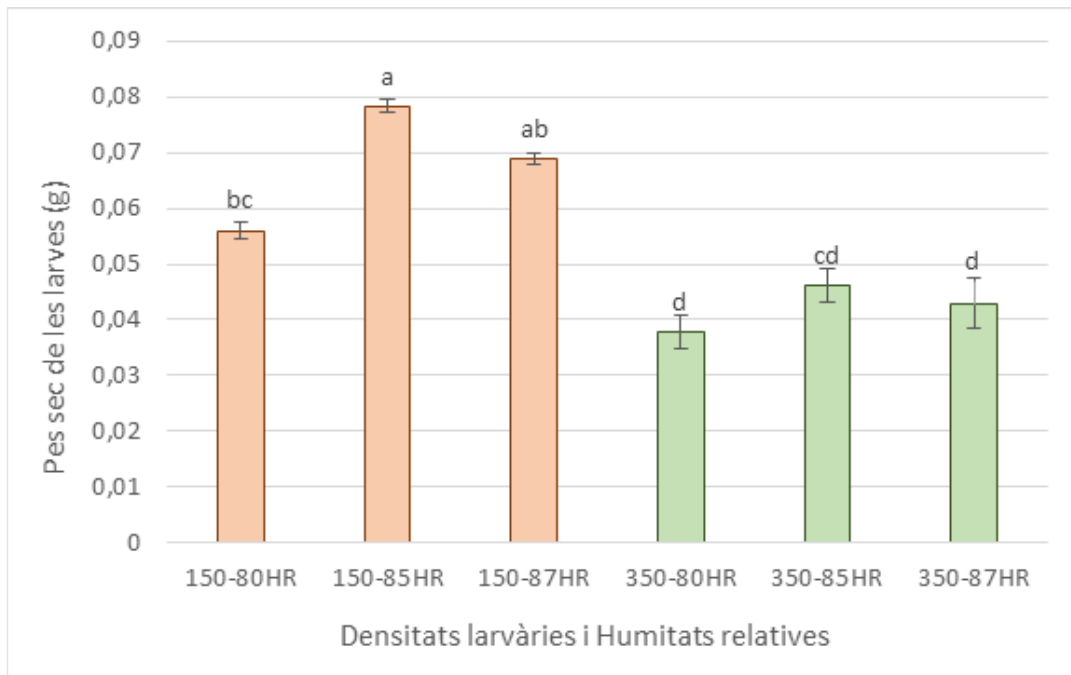


Figura 22: Mitjanes ( $\pm$  Error típic) del pes sec de les larves d'últim estadi recuperades al final de la bioconversió en els diferents tractaments. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament ( $P=0.05$ ) ( $n=5$ ).

- Mida de les larves.

La mida de les larves (longitud x amplada en  $\text{mm}^2$ ) va ser diferent segons els tractaments ( $F= 9.79$ ;  $\text{gdl}=5, 23$ ;  $P<0.0001$ ) (figura 23). Les larves del tractament 150-87% van ser més grans que les del 350-87%. Però aquestes diferències segons la densitat de larves no es van observar en les altres humitats. També van haver-hi diferències entre humitats però de forma poc consistent.

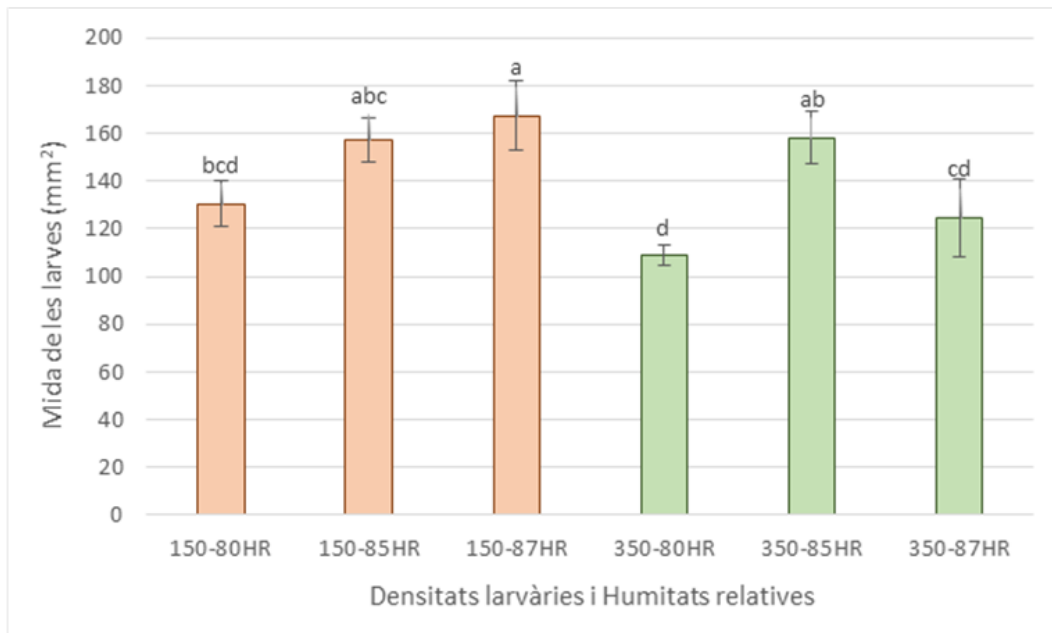


Figura 23: Mitjanes ( $\pm$  Error típic) mida de les larves d'últim estadi recuperades al final de la bioconversió en els diferents tractaments. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament ( $P=0.05$ ) ( $n=5$ ).

- Substrat consumit per la larva

El substrat consumit per les larves dels diferents tractaments tenia diferències significatives ( $F= 14.17$ ;  $gdl=5, 23$ ;  $P<0.0001$ ) (figura 24).

S'observa que les larves dels tractaments amb una densitat larvària de 150 L1, van consumir més substrat per larva que les de la densitat de 350 L1. Per tant, les larves que més substrat van consumir van ser les que més pesaven (figures 21 i 22).

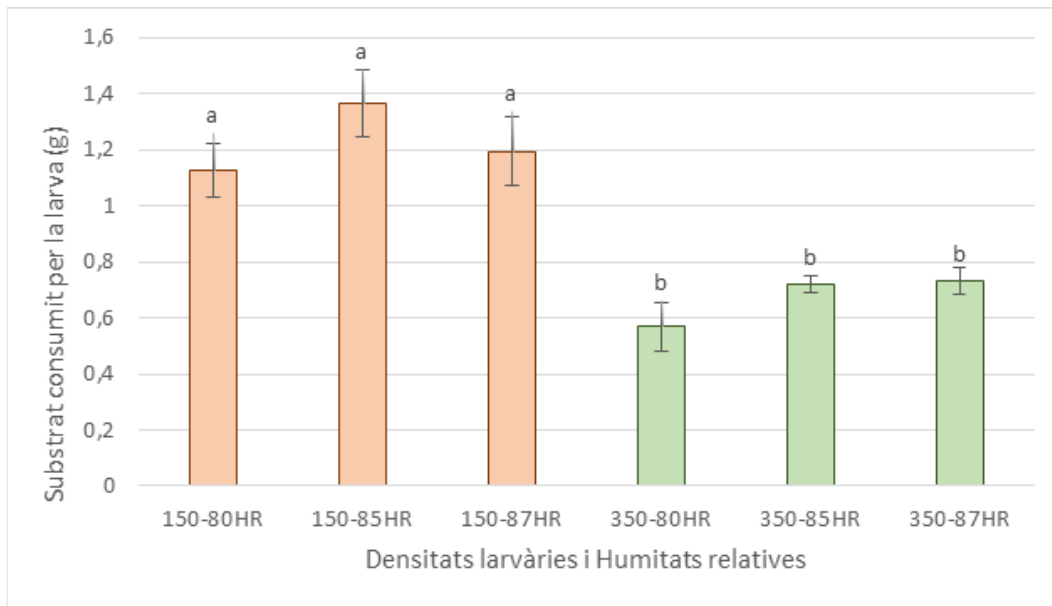


Figura 24: Mitjanes ( $\pm$  Error típic) substrat consumit per la larva en els diferents tractaments. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament ( $P=0.05$ ) ( $n=5$ ).

### 4.3. Caracterització del residu resultant de la biotransformació

#### 4.3.1. Efecte de les larves sobre el substrat de porro

- Pes fresc del substrat després de la bioconversió.

Quan es va pesar el substrat de porro dels diferents tractaments una vegada es van recol·lectar les larves es va veure que hi havia diferències significatives ( $F= 25.40$ ;  $gdl=5, 23$ ;  $P<0.0001$ ) (figura 25). El substrat amb menys pes va ser el del tractament 350-85% HR (252 g) seguit del tractament 350-87% HR (299 g). Els de major pes van ser els tractaments 150-87% (373 g) i 150-80% (346 g). Per tant, la reducció més gran del substrat es dona quan hi ha més larves, encara que no és així per totes les humitats assajades. Cal destacar que al final dels vint dies de cicle larvari, quedava encara un volum important de substrat per consumir.

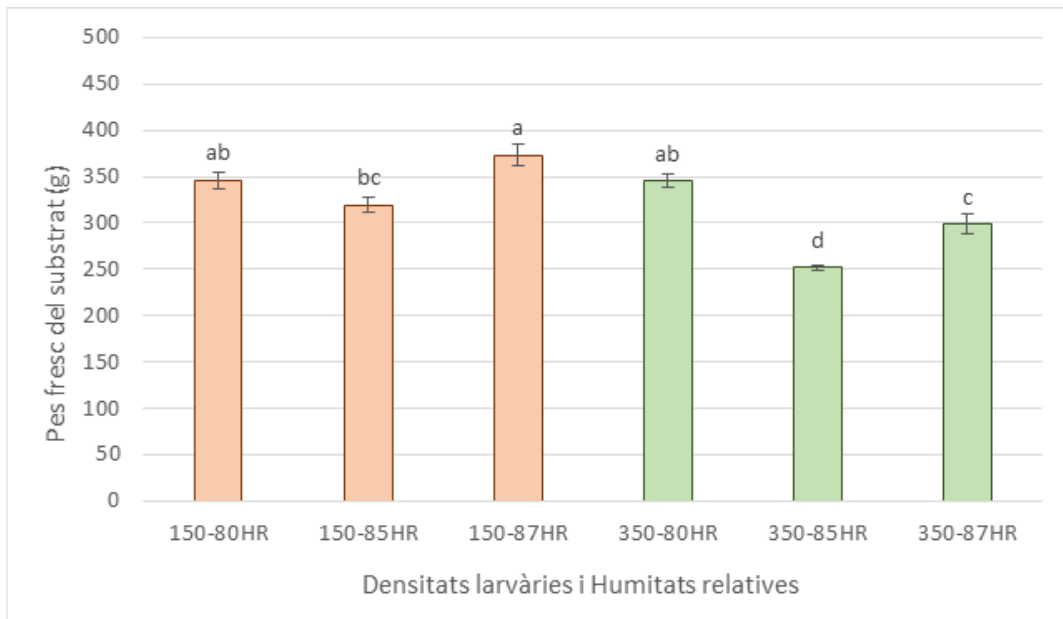


Figura 25: Mitjanes ( $\pm$  Error típic) pes fresc del substrat després de la bioconversió per les larves en els diferents tractaments. Tractaments amb la mateixa lletra no difereixen significativament ( $P=0.05$ ) ( $n=5$ ).

#### 4.4. Humitat relativa del substrat de porro resultant

El substrat resultant de la bioconversió a una humitat del 87% tenia una olor forta i desagradable, un color molt més fosc que el substrat inicial (més marronós) i una textura molt líquida (*figura 26*). El substrat resultant a un 85% HR (*figura 27*), presentava una olor forta i desagradable, el color predominant era el marró fosc i una textura amb algunes parts més sòlides. L'últim substrat resultant, 80% d'humitat (*figura 28*), no feia olor, predominava el color verd (semblant al color del substrat inicial) i la textura era força sòlida.

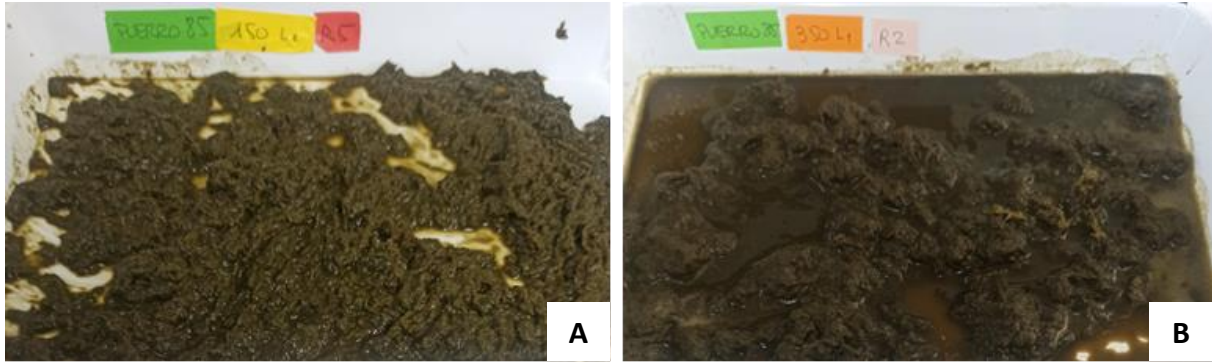


Figura 26: Comparació de dos tractaments amb substrat amb el percentatge teòric del 85%, però realment l'obtingut és del 87% d'humitat relativa. Densitat larvària de 150 (A), i densitat de larves de 350 (B) (Font pròpia).

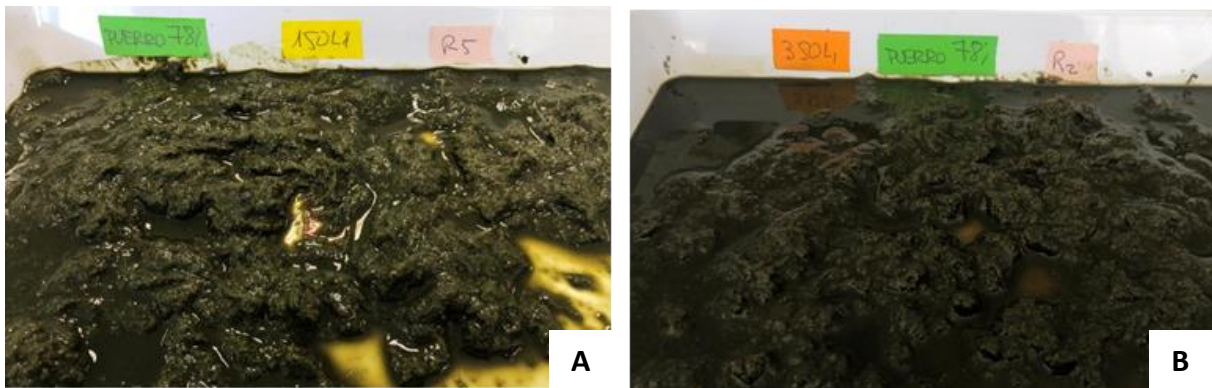


Figura 27: Comparació de dos tractaments amb substrat al 78% d'humitat teòrica, però amb un 85% d'humitat realment obtinguda. Densitat larvària de 150 (A), i densitat de larves de 350 (B) (Font pròpia).



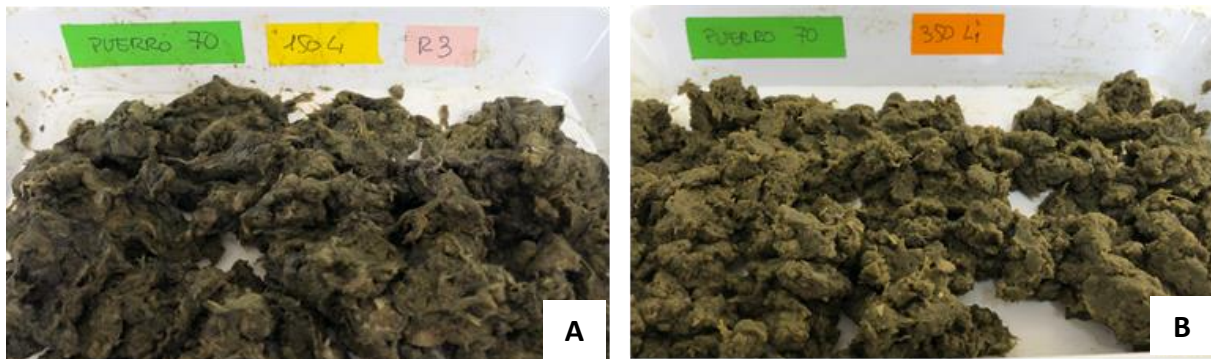


Figura 28: Comparació de dos tractaments amb substrat al 70% d'humitat teòrica, però amb un 80% d'humitat realment obtinguda. Densitat larvària de 150 (A), i densitat de larves de 350 (B) (Font pròpia).

Aquest substrat resultant de la bioconversió de les larves, una vegada es va assecat va tenir una humitat relativa superior a la inicial oferta a les larves (Taula 2). Possiblement, l'augment d'aquesta humitat va ser produïda per la bioconversió feta per la larva, en consumir la matèria seca i deixant el líquid.

Taula 2: Pes fresc, pes sec i la humitat relativa del porro resultant de la bioconversió de les larves amb les diferents quantitats de líquid.

| SUBSTRAT                | DENSITAT LARVES | PES FRESC (g) | PES SEC (g) | HUMITAT (%) |
|-------------------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|
| Triturat al 87% humitat | 150             | 100           | 6,92        | 93          |
|                         | 350             | 100           | 4,43        | 95          |
| Triturat al 85% humitat | 150             | 100           | 8,05        | 92          |
|                         | 350             | 100           | 6,26        | 94          |
| Triturat al 80% humitat | 150             | 100           | 13,50       | 87          |
|                         | 350             | 100           | 11,02       | 89          |

Finalment, després de conèixer la reducció en el pes del substrat en cada tractament un cop passat per les larves, era interessant saber quan s'havia reduït en conjunt el porro inicial triturat. Així, primer s'extreia líquid del porro per obtenir els tres percentatges d'humitat (87%, 85% i 80%) que es volia provar, i després hi havia una

reducció causada per l'alimentació de les larves. En la Taula 3 es mostra el percentatge de substrat total reduït en cada un dels dos passos. En conjunt la reducció obtinguda oscil·la entre un 44% (la menor) i un 75% (la major). El tractament 150-87% redueix un 11% menys quantitat de porro, que si s'augmenta la densitat a 350 larves. En el cas del tractament 150-85% el substrat es veu reduït 7% menys que si s'utilitza una densitat major. Per últim, en els tractaments amb el substrat al 80%, la reducció és la mateixa, i no es veu que hi hagi una influència de la densitat larvària.

Taula 3: Percentatge de reducció del substrat de porro inicial triturat una vegada es va extreure el líquid corresponent de cada tractament i després de la bioconversió per les larves.

| TRACTAMENTS | PES INICIAL<br>SENSE<br>EXTREURE<br>LÍQUID (g) | PES OFERT<br>LARVES<br>DESPRÉS<br>D'EXTREURE<br>LÍQUID (g) | PERCENTATGE DE REDUCCIÓ (%) |                           |                   |
|-------------|--|--|-----------------------------|---------------------------|-------------------|
|             |  |  | EXTRACCIÓ<br>DE LÍQUID      | REDUCCIÓ<br>PER<br>LARVES | REDUCCIÓ<br>TOTAL |
| 150-87%     | 667  | 500  | 25                          | 19                        | 44                |
| 150-85%     | 1000   | 500  | 50                          | 18                        | 68                |
| 150-80%     | 1351   | 500  | 63                          | 11                        | 74                |
| 350-87%     | 667  | 500  | 25                          | 30                        | 55                |
| 350-85%     | 1000   | 500  | 50                          | 25                        | 75                |
| 350-80%     | 1351   | 500  | 63                          | 11                        | 74                |

## 5. DISCUSSIÓ

*L'Hermetia illucens* és una de les espècies d'insectes més estudiada per a la bioconversió de subproductes agrícoles. En el present estudi les larves van ser alimentades amb porro des de la primera etapa de vida larvària fins a l'últim a. Malgrat això, els tractaments on es van obtenir millors resultats van ser amb el 85% i el 87% d'humitat. Uns resultats força diferents dels que es van obtenir en estudis anteriors realitzats amb la mateixa espècie. Es recomanava utilitzar substrats amb una humitat relativa per sota del 80% per crear un ambient adequat (Dortmans & Diener. 2017), o bé un 70% (Julita et al. 2019).

L'efecte de la humitat (87%, 85% i 80%) estaria condicionada a la densitat larvària. A mesura que el percentatge d'humitat va disminuint i la densitat utilitzada és de 150 larves el percentatge de reducció per larves també disminueix (19%, 18% i 11%). En canvi, augmentant el nombre de larves per tractament, el percentatge de reducció és major (30%, 25% i 11%) quan més humitat hi ha al substrat.

Pel que fa, a l'efecte de les dues densitats larvàries durant la bioconversió, com major és la densitat utilitzada de larves (350 L1), més alta és la reducció del substrat de porro. Això no és així per a totes les humitats, ja que quan el substrat es troba molt sec (80%), és indiferent el nombre de larves que s'usin que el percentatge de reducció serà el mateix (11%).

Una disminució del contingut de líquid del substrat i un augment en la densitat larvària, fa que la reducció del substrat total sigui més elevada. En contra, el substrat més sec, no té cap millora en la seva reducció i obté el mateix valor tant si s'utilitzen 150 larves com 350 larves.

Finalment, el residu resultant després d'haver estat consumit per la larva, era més líquid quan a major era el percentatge d'humitat i major la densitat de larves. Sobre el producte final resultant, s'hauria de reduir el contingut de líquid per tal de poder ser utilitzat com a compost.

## 6. APLICABILITAT

Aquest treball ha contribuït en ampliar els coneixements sobre *l'Hermetia illucens*, un dípter estratiomid (Diptera, Stratiomyidae) vulgarment conegut com a “mosca soldat negra”. Els estadis larvaris d'aquesta, poden alimentar-se en condicions favorables de multitud de restes orgàniques de diversos orígens. És per això que aquesta espècie presenta molt d'interès a ser usada com a cria massiva en el procés de tractament de residus orgànics originats a la Cooperativa Conca de la Tordera per transformar-los en un compost utilitzable per a pagesos de la zona.

## 7. CONCLUSIONS

- L'ús de les larves d'*Hermetia illucens* ha ajudat a reduir el volum de porro a diferents percentatges d'humitat (87%, 85% i 80%). Aquesta reducció deguda a l'acció de les larves ha estat entre l'11% i el 30%.
- Les humitats òptimes del substrat de porro per a la seva bioconversió mitjançant *Hermetia illucens* han estat 85% i 87%.
- Substrat amb humitat del 85% i 87% com major és el nombre de larves sembrades, major és el percentatge de reducció del substrat. Si el substrat és més sec (80%), la reducció del percentatge del substrat no augmenta en passar de 150 larves a 350 larves.
- És necessari disminuir la quantitat de líquid en la mostra inicial de porro abans d'introduir les larves, per tal que es puguin desenvolupar correctament.
- El substrat resultant de la bioconversió per les larves, tendeix augmentar el percentatge d'humitat a valors superiors al substrat inicial (95%), sent matèria sòlida menys d'un 10%.
- Les larves d'*Hermetia illucens* exerceixen una molt bona acció en la bioconversió del porro obtenint-se un producte final utilitzable com a compost, tot i que s'hauria de reduir el contingut líquid d'aquest producte final per a la seva aplicació.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Adelmo, A. (2022, 11 abril). Larvas de mosca soldado negra, proteínas y aceites de residuos orgánicos. Gift. Recuperat de:

<https://www.greatitalianfoodtrade.it/es/innovaci%C3%B3n/soldado-negro-mosca-larvas-prote%C3%ADnas-y-aceites-de-residuos-org%C3%A1nicos/>

Cabrera Gutiérrez, D., & López Gutiérrez, A. L. (2021). *Evaluación de la larva de mosca soldado negra (Hermetia Illucens) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos* (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8329/1/6152687-2021-1-IQ.pdf>

Catalunya.com (s.d.). Conca de la Tordera. Recuperat de:

<https://www.catalunya.com/conca-de-la-tordera-17-14003-651417?language=ca>

Čičková, H., Newton, G. L., Lacy, R. C., & Kozánek, M. (2015). The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste management*, 35, 68-80.

Conca de la Tordera, Premi al Millor Proveïdor de Productes de Proximitat. Federació de Cooperatives Agràries de Catalunya, (2015). Recuperat de:

<https://www.cooperativesagraries.cat/ca/noticies/148-conca-de-la-tordera-premi-al-millor-proveidor.html>

Diclaro II, J. W., & Kaufman, P. E. (2009). Black soldier fly hermetia illucens linnaeus (insecta: Diptera: Stratiomyidae). *EDIS*, 2009(7).

<https://edis.ifas.ufl.edu/pdf%5CIN%5CIN830%5CIN830-Dtvpixxu0h.pdf>

Dortmans, B. M.A., Diener, S., Verstappen, B. M., & Zurbrügg, C. (2017). Black soldier fly biowaste processing- a step-by-step guide Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Dübendorf, Switzerland, 100.

[https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF\\_Biowaste\\_Processing\\_LR.pdf](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/sandec/publikationen/SWM/BSF/BSF_Biowaste_Processing_LR.pdf)

Espinosa, P (2022, 25 juliol). Qué és y cómo evitarla. Consentio. Recuperat de:

<https://es.consentio.co/blog/merma-que-es-como-evitarla>

Gobbi, F. P. (2012). *Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de Hermetia illucens (L., 1758) (Diptera:Stratiomyidae).Bases para su producción massiva en Europa. & Tesis doctoral.*

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=62033>

Julita, U., Fitri, L. L., Putra, R. E., & Permana, A. D. (2019, August). Survival and reproductive value of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on vegetable and fruits waste rearing substrate. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1245, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1245/1/012002/pdf>

Papargyropoulou, E, Lozano, R, Steinberger, J, Wright, N, Ujang Zb. (2014) The food waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste. *Journal of Cleaner Production*, 76. 106 - 115.

Singh, A., & Kumari, K. (2019). An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. *Journal of Environmental Management*, 251.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719312873>

Surendra, K. C., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L. H. L., & Khanal, S. K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.))(Diptera: Stratiomyidae)(BSF). *Waste Management*, 117, 58-80.

Veldkamp, T., Van Duinkerken, G., van Huis, A., Lakemond, C. M. M., Ottevanger, E., Bosch, G., & Van Boekel, T. (2012). *Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets: a feasibility study= Insecten als duurzame diervoedergrondstof in varkens-en pluimveevoeders: een haalbaarheidsstudie* (No. 638). Wageningen UR Livestock Research.