



Títol del treball:

Selecció d'Espècies d'Insecte per a la seva Cria i Explotació com a Pinso per a Animals Monogàstrics: Un Enfocament Biològic i de Sostenibilitat

Estudiant: Pau Teixidó Siuraneta

Correu electrònic: pteixis@gmail.com

Grau en Biologia

Tutor acadèmic: Crisanto Gomez Lopez

Correu electrònic: Crisanto.gomez@udg.edu

Data de dipòsit de la memòria a través de la plataforma de TFG: 04/07/2024

ÍNDIX

Resum	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Reflexió sobre ètica.....	iv
Reflexió sobre sostenibilitat.....	iv
Reflexió sobre perspectiva de gènere.....	iv
INTRODUCCIÓ.....	1
OBJECTIVES.....	3
METODOLOGIA.....	4
1.1. Recol·lecció de dades i revisió bibliogràfica.....	4
1.2. Selecció d'espècies d'insectes	4
1.3. Anàlisi de dades nutricionals.....	4
1.4. Anàlisi de sostenibilitat ambiental.....	4
1.5. Síntesi i interpretació dels resultats.....	4
1.6. Divisió de la cerca en dues línies principals	4
RESULTATS.....	6
2.1. ESPÈCIES SEL·LECCIONADES	6
2.2. CICLE BIOLÒGIC	7
Número d'ous per ovoposició	7
Període d'engreix	7
Cicles anuals.....	8
2.3. REQUERIMENTS AMBIENTALS	9
Temperatura.....	9
Humitat relativa	9
Fotoperíodes (hores llum-fosc).....	10
Densitat.....	10
2.4. CAPACITAT DE CONVERSIÓ DE RESIDUS ORGÀNICS EN BIOMASSA ÚTIL	11
Dieta.....	11
Taxa de Creixement	11
Relació de Conversió de Proteïna (RCP)	12
Feed Conversion Ratio (FCR)	12
2.5. VALOR NUTRICIONAL DE LA BIOMASSA PRODUÏDA	13
Contingut de Proteïnes	13
Contingut de Greixos.....	13
Aminoàcids Essencials.....	14
2.6. SOSTENIBILITAT.....	15
Consum Hídric.....	15
Emissions de Gasos d'Efecte Hivernacle (GEH)	15
Eficiència en l'Ús de Terres.....	16
DISCUSSIÓ.....	19
CONCLUSIONS.....	21
BIBLIOGRAFIA	22

RESUM

En les darreres dècades, l'interès en l'ús d'insectes com a font d'aliment per a animals monogàstrics ha augmentat significativament tant en la comunitat científica com en la indústria agroalimentària. Aquest interès es basa en la necessitat de trobar alternatives sostenibles a les fonts de proteïna tradicionals, com la soja i la farina de peix, que tenen un impacte ambiental elevat. La producció de soja està associada amb la desforestació massiva, especialment a l'Amazones, provocant pèrdua d'hàbitats i disminució de la biodiversitat. La farina de peix, obtinguda de la pesca i aqüicultura, contribueix a la sobreexplotació dels estocs pesquers i propagació de malalties, afectant la sostenibilitat dels oceans.

Aquest estudi explora la viabilitat de criar tres espècies d'insectes: la mosca soldat negra (*Hermetia illucens*), el cuc de la farina (*Tenebrio molitor*) i el grill domèstic (*Acheta domestica*) per a la producció de pinso animal. Aquests insectes són candidats prometedors degut a la seva alta eficiència en la conversió d'aliments, capacitat de reciclar residus orgànics i requeriments reduïts d'aigua i terreny.

L'objectiu principal és avaluar l'eficiència biològica, ambiental i de sostenibilitat de cadascuna d'aquestes espècies per determinar la seva adequació per a una producció sostenible de pinso animal. La metodologia inclou una revisió de la literatura científica, anàlisi del cicle biològic de les espècies, avaluació de la seva capacitat de conversió de residus orgànics en biomassa útil i comparació del valor nutricional amb fonts tradicionals de proteïna. També es consideren aspectes com el consum hídric, les emissions de gasos d'efecte hivernacle i l'ús de terres.

Els resultats mostren que els insectes tenen una alta eficiència en la conversió d'aliments, reciclen residus orgànics i requereixen menys aigua i terra que les fonts tradicionals. La seva producció genera menys emissions de gasos d'efecte hivernacle, contribuint a la mitigació del canvi climàtic. La biomassa produïda és comparable en valor nutricional, proporcionant una dieta adequada i saludable per als animals monogàstrics.

Les conclusions indiquen que la producció de pinso a base d'insectes és una alternativa més sostenible i amb menor impacte ambiental que les fonts tradicionals. La substitució de la soja i la farina de peix per insectes podria alleujar la pressió sobre els ecosistemes naturals, reduir la desforestació i minimitzar la sobreexplotació dels estocs pesquers i la propagació de malalties. Això contribueix a la sostenibilitat global i la seguretat alimentària, destacant la importància de l'estudi en el context de pràctiques agroalimentàries sostenibles. La implementació d'aquesta alternativa podria significar una revolució en la indústria agroalimentària, oferint solucions innovadores i sostenibles per al futur de l'alimentació animal.

RESUMEN

En las últimas décadas, el interés en el uso de insectos como fuente de alimento para animales monogástricos ha aumentado significativamente tanto en la comunidad científica como en la industria agroalimentaria. Este interés se basa en la necesidad de encontrar alternativas sostenibles a las fuentes de proteína tradicionales, como la soja y la harina de pescado, que tienen un alto impacto ambiental. La producción de soja está asociada con la deforestación masiva, especialmente en el Amazonas, provocando la pérdida de hábitats y la disminución de la biodiversidad. La harina de pescado, obtenida de la pesca y acuicultura, contribuye a la sobreexplotación de los stocks pesqueros y propagación de enfermedades, afectando la sostenibilidad de los océanos.

Este estudio explora la viabilidad de criar tres especies de insectos: la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) y el grillo doméstico (*Acheta domestica*) para la producción de pienso animal. Estos insectos son candidatos prometedores debido a su alta eficiencia en la conversión de alimentos, capacidad para reciclar residuos orgánicos y requisitos reducidos de agua y terrenos.

El objetivo principal es evaluar la eficiencia biológica, ambiental y de sostenibilidad de cada una de estas especies para determinar su adecuación para una producción sostenible de pienso animal. La metodología incluye una revisión de la literatura científica, análisis del ciclo biológico de las especies, evaluación de su capacidad de conversión de residuos orgánicos en biomasa útil y comparación del valor nutricional con fuentes tradicionales de proteína. También se consideran aspectos como el consumo hídrico, las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de tierras.

Los resultados muestran que los insectos tienen una alta eficiencia en la conversión de alimentos, reciclan residuos orgánicos y requieren menos agua y tierra que las fuentes tradicionales. Su producción genera menos emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. La biomasa producida es comparable en valor nutricional, proporcionando una dieta adecuada y saludable para los animales monogástricos.

Las conclusiones indican que la producción de pienso a base de insectos es una alternativa más sostenible y con menor impacto ambiental que las fuentes tradicionales. La sustitución de la soja y la harina de pescado por insectos podría aliviar la presión sobre los ecosistemas naturales, reducir la deforestación y minimizar la sobreexplotación de los stocks pesqueros y la propagación de enfermedades. Esto contribuye a la sostenibilidad global y la seguridad alimentaria, destacando la importancia del estudio en el contexto de prácticas agroalimentarias sostenibles. La implementación de esta alternativa podría significar una revolución en la industria agroalimentaria, ofreciendo soluciones innovadoras y sostenibles para el futuro de la alimentación animal.

ABSTRACT

In recent decades, interest in the use of insects as a food source for monogastric animals has significantly increased both in the scientific community and in the agri-food industry. This interest is based on the need to find sustainable alternatives to traditional protein sources, such as soy and fishmeal, which have a high environmental impact. Soy production is associated with massive deforestation, especially in the Amazon, causing habitat loss and a decrease in biodiversity. Fishmeal, obtained from fishing and aquaculture, contributes to the overexploitation of fish stocks and the spread of diseases, affecting the sustainability of the oceans.

This study explores the viability of breeding three insect species: the black soldier fly (*Hermetia illucens*), the mealworm (*Tenebrio molitor*), and the domestic cricket (*Acheta domestica*) for animal feed production. These insects are promising candidates due to their high efficiency in food conversion, ability to recycle organic waste, and reduced water and land requirements.

The main objective is to assess the biological, environmental, and sustainability efficiency of each of these species to determine their suitability for sustainable animal feed production. The methodology includes a review of the scientific literature, analysis of the species' life cycles, evaluation of their ability to convert organic waste into useful biomass, and comparison of the nutritional value with traditional protein sources. Aspects such as water consumption, greenhouse gas emissions, and land use are also considered.

The results show that insects have high food conversion efficiency, recycle organic waste, and require less water and land than traditional sources. Their production generates fewer greenhouse gas emissions, contributing to climate change mitigation. The produced biomass is comparable in nutritional value, providing an adequate and healthy diet for monogastric animals.

The conclusions indicate that insect-based feed production is a more sustainable alternative with a lower environmental impact than traditional sources. Replacing soy and fishmeal with insects could alleviate pressure on natural ecosystems, reduce deforestation, and minimize the overexploitation of fish stocks and the spread of diseases. This contributes to global sustainability and food security, highlighting the importance of the study in the context of sustainable agri-food practices. Implementing this alternative could revolutionize the agri-food industry, offering innovative and sustainable solutions for the future of animal feeding.

REFLEXIÓ SOBRE ÈTICA

La cria d'insectes per a pinso planteja dilemes ètics significatius que requereixen un examen profund. Un aspecte positiu és que aquest mètode redueix la demanda sobre recursos naturals intensius, alineant-se amb un enfocament sostenible i responsable. Aquesta pràctica pot contribuir significativament a la reducció de l'impacte ambiental, una prioritat en la legislació actual sobre sostenibilitat. No obstant això, la manipulació de les condicions de vida dels insectes i l'impacte en el seu benestar emergeixen com a preocupacions ètiques centrals que requereixen una regulació rigorosa. És imperatiu considerar els conflictes d'interès, especialment quan la investigació és financada per entitats privades que podrien buscar ocultar resultats negatius per protegir els seus interessos econòmics. Adoptar pràctiques de recerca acceptades i assegurar la transparència completa en la publicació de resultats, incloent els negatius, és vital per mantenir la integritat de la recerca i evitar la 'falsificació de dades'. Aquest enfocament ajudarà a garantir que els avanços en la cria d'insectes siguin tant èticament defensables com científicament vàlids.

REFLEXIÓ SOBRE SOSTENIBILITAT

La cria d'insectes per a pinso és una estratègia prometedora per avançar cap als Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS), enfocant-se en la gestió responsable de recursos no energètics com l'aigua i l'optimització en la gestió de residus. Aquesta tècnica minimitza la vulnerabilitat dels sistemes agrícoles davant els impactes del canvi climàtic mitjançant la reducció de la desertització i la utilització de menys recursos hídrics. La reutilització i reciclatge de residus orgànics per alimentar insectes demostra un cicle d'economia circular, destacant un consum responsable i la reducció de contaminació. No obstant això, és crucial intensificar la sensibilització ambiental i promoure la cooperació i educació ambiental per maximitzar aquests beneficis. L'adopció d'energies renovables i l'estalvi energètic en aquestes pràctiques poden enfortir encara més la seva sostenibilitat.

REFLEXIÓ SOBRE PERSPECTIVA DE GÈNERE

La integració de la perspectiva de gènere en la recerca sobre la cria d'insectes per a pinso és crucial per garantir equitat i inclusió. Encara persisteixen biaixos i estereotips de gènere que poden influir en les decisions de finançament i en les oportunitats de lideratge, com l'efecte Matilda, que menysvalora les contribucions científiques femenines. La interseccionalitat és fonamental per entendre com els diferents eixos de identitat afecten les experiències individuals dins del camp. És important reconèixer i mitigar les microagressions i els fenòmens de "mansplaining" que poden ocórrer tant en l'àmbit acadèmic com en el professional. A més, abordar la bretxa salarial i les dinàmiques en l'aula pot ajudar a eliminar el sostre de vidre que limita l'avanç de les dones en ciència.

INTRODUCCIÓ

En les últimes dècades, l'ús d'insectes com a font d'aliment per a animals monogàstrics ha despertat un interès creixent, tant en la comunitat científica com en la indústria agroalimentària. Aquest interès es deriva de la necessitat de trobar alternatives sostenibles a les fonts de proteïnes tradicionals com la soja i la farina de peix, que tenen un alt impacte ambiental en termes de consum d'aigua, ús de terres i emissions de gasos d'efecte hivernacle (Huis, 2013c; Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a). En aquest context, les espècies d'insectes com la mosca soldat negra (*Hermetia illucens*), el cuc de la farina (*Tenebrio molitor*) i el grill domèstic (*Acheta domestica*) entre d'altres, han emergit com a candidats prometedors per a la producció de pinso animal.

La necessitat d'una producció de pinso més sostenible és evident en un món amb recursos naturals limitats i una població en creixement constant. Els insectes ofereixen una solució innovadora per diverses raons: tenen una alta eficiència en la conversió d'aliments, són capaços de reciclar residus orgànics i requereixen menys aigua i terra que les fonts de proteïnes tradicionals (Miglietta et al., 2015; Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a). A més, la seva producció genera menys emissions de gasos d'efecte hivernacle, contribuint així a la mitigació del canvi climàtic (Oonincx et al., 2010).

Les fonts de proteïnes tradicionals, com la soja i la farina de peix, tenen impactes ambientals significatius. La producció de soja està associada amb la desforestació massiva, especialment a regions com l'Amazones, on l'expansió de les terres agrícoles ha provocat la pèrdua d'hàbitats i la disminució de la biodiversitat (Fearnside, 2001). A més, la producció de soja requereix grans quantitats d'aigua i l'ús intensiu de pesticides i fertilitzants, que poden contaminar els cossos d'aigua locals i afectar negativament els ecosistemes aquàtics (Tilman et al., 2002). Per la seva banda, la farina de peix, que s'obté de la pesca de peixos petits com les anxoves i les sardines, contribueix a la sobreexplotació dels estocs pesquers, afectant la sostenibilitat dels oceans i posant en perill les poblacions de peixos (Naylor et al., 2000).

A més, la cria de peixos en granges d'aqüicultura també presenta diversos problemes. Tot i que aquesta pràctica pot ajudar a reduir la pressió sobre les poblacions silvestres, sovint està associada amb la propagació de malalties, la mala qualitat de l'aigua i la degradació dels ecosistemes marins adjacents (FAO, 2018; Naylor et al., 2000). Les condicions de densitat elevada en les granges d'aqüicultura poden afavorir la transmissió de malalties entre els peixos, la qual cosa pot resultar en l'ús intensiu d'antibiòtics i altres productes químics, amb conseqüències potencials per a la salut humana i el medi ambient (Cabello, 2006). A més, els peixos criats en aquestes condicions sovint presenten una menor qualitat nutricional i gustativa en comparació amb els peixos salvatges (Montero et al., 2001).

El present estudi explora la viabilitat de la cria de tres espècies d'insectes per a la producció de pinso: la mosca soldat negra (*Hermetia illucens*), el cuc de la farina (*Tenebrio molitor*) i el grill domèstic (*Acheta domestica*). Avaluant els aspectes biològics, ambientals i de sostenibilitat, es pretén determinar-les com a adequades per a la producció sostenible de pinso animal. Aquesta investigació no només té el potencial de revolucionar la indústria agroalimentària, sinó que també pot contribuir significativament a la sostenibilitat ambiental.

Els objectius d'aquest estudi són determinar el cicle biològic òptim de les espècies *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor* i *Acheta domestica*; avaluar l'eficiència en la

conversió de residus orgànics en biomassa útil per a cada espècie; comparar el valor nutricional de la biomassa produïda per cada espècie d'insecte amb les fonts de proteïna tradicionals com la farina de peix i la soja; analitzar la sostenibilitat de la producció de pinso a base d'insectes en termes de consum hídric, emissions de gasos d'efecte hivernacle i ús de terres; i presentar una revisió comparativa de les fonts de proteïna tradicionals versus la producció de proteïnes a partir d'insectes, utilitzant dades i resultats de la literatura científica existent. S'espera que la producció de pinso a base d'insectes sigui una alternativa més sostenible, amb un menor impacte ambiental en termes de consum de recursos naturals i emissions de gasos d'efecte hivernacle. A nivell nutricional, es preveu que la biomassa produïda per aquests insectes sigui comparable a les fonts de proteïna tradicionals, proporcionant una dieta adequada i saludable per als animals monogàstrics.

La substitució de les fonts de proteïna tradicionals per a la producció de pinsos per insectes podria alleugerir la pressió sobre els ecosistemes naturals. Els insectes poden ser criats en instal·lacions petites i tancades, fet que redueix la necessitat de terres agrícoles extenses i minimitza la desforestació (Rumpold & Schlüter, 2013). A més, els insectes tenen una alta taxa de reproducció i creixement, la qual cosa permet una producció ràpida i eficient de biomassa. Aquesta biomassa és rica en proteïnes, greixos i altres nutrients essencials, convertint-la en una alternativa viable a les fonts de proteïna tradicionals per a l'alimentació animal (Huis, 2013a).

Aquest treball es divideix en diverses seccions clau. En primer lloc, s'introduirà el tema, destacant la importància de l'estudi, els objectius i les hipòtesis formulades. A continuació, es descriurà detalladament la metodologia emprada per recopilar i analitzar les dades. Després, es farà una revisió de la literatura existent, presentant les referències més rellevants sobre la cria d'insectes per a pinso. Els resultats obtinguts es presentaran i interpretaran de manera clara i organitzada. Es discutirà la rellevància dels resultats en el context de la sostenibilitat agroalimentària, destacant les implicacions pràctiques i les possibles aplicacions industrials de la producció de pinso a base d'insectes. Finalment, es presentaran les conclusions de l'estudi, subratllant les contribucions significatives de la investigació i proposant recomanacions per a futures recerques i la implementació de pràctiques sostenibles en la indústria agroalimentària.

OBJECTIVES

General Objective:

Analyze the viability and efficacy of breeding insects (*Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus*) as an alternative protein source for the production of feed for monogastric animals, comparing them with traditional protein sources such as soy and fishmeal.

Specific Objectives:

1. **Determine** the optimal life cycle of the selected insect species (*Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus*) for feed production.
2. **Evaluate** the efficiency of converting organic waste into useful biomass for each insect species.
3. **Compare** the nutritional value of the biomass produced by each insect species with traditional protein sources such as fishmeal and soy.
4. **Analyze** the sustainability of insect-based feed production in terms of water consumption, greenhouse gas emissions, and land use.
5. **Present** a comparative review of traditional protein sources versus protein production from insects, using data and results from existing scientific literature.

METODOLOGIA

Recol·lecció de dades i revisió bibliogràfica

Aquest estudi es va dur a terme mitjançant una revisió exhaustiva de la literatura científica existent sobre la cria d'insectes i en especial, com a font de proteïna per a la producció de pinso animal. Es va recórrer a bases de dades acadèmiques com Google Scholar, ResearchGate, ScienceDirect, PubMed i altres per identificar estudis rellevants. Es va consultar un total de 45 fonts per a realitzar aquest treball.

Selecció d'espècies d'insectes

Les espècies d'insectes seleccionades per a l'estudi van ser *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor* i *Acheta domesticus*. Aquestes espècies es van triar basant-se en la seva popularitat en la literatura científica com a fonts prometedores de proteïna alternativa per a la producció de pinso. Es va revisar la informació sobre el cicle biològic, l'eficiència en la conversió de residus orgànics en biomassa i el valor nutricional de la biomassa produïda per aquestes espècies.

Anàlisi de dades nutricionals

Per comparar el valor nutricional de la biomassa produïda per cada espècie d'insecte amb les fonts de proteïna tradicionals com la farina de peix i la soja, es van recopilar dades de diversos estudis que incloïen anàlisis de contingut de proteïnes, greixos, i aminoàcids essencials. Les dades es van presentar en taules comparatives per facilitar l'anàlisi i la interpretació.

Anàlisi de sostenibilitat ambiental

La sostenibilitat de la producció de pinso a base d'insectes es va analitzar mitjançant la recopilació de dades sobre el consum hídric, les emissions de gasos d'efecte hivernacle i l'ús de terres associats amb la cria d'insectes. Es van comparar aquestes dades amb les de la producció de proteïnes tradicionals per identificar avantatges i desavantatges ambientals.

Síntesi i interpretació dels resultats

La informació recollida es va sintetitzar per proporcionar una visió general comprensiva de la viabilitat i eficàcia de la cria d'insectes com a font de proteïna alternativa per a la producció de pinso animal. Els resultats es van discutir en el context de les necessitats actuals de sostenibilitat i seguretat alimentària global.

Divisió de la cerca en dues línies principals

La cerca es va dividir en dues línies principals. La primera línia va investigar estudis anteriors relacionats amb les característiques biològiques i nutricionals de les espècies d'insectes seleccionades. Es van revisar articles sobre el cicle de vida, l'eficiència de conversió de residus, el valor nutricional i la sostenibilitat de la producció d'insectes. Això va permetre aclarir els aspectes clau de cada espècie en termes de viabilitat com a font de proteïna per a pinso.

La segona línia es va centrar en estudis comparatius sobre les fonts de proteïna tradicionals com la farina de peix i la soja, analitzant els impactes ambientals associats

amb la seva producció, així com els beneficis i les limitacions nutricionals. Es van consultar estudis que avaluaven l'impacte ambiental de la producció de soja en termes de desforestació, consum d'aigua i ús de pesticides, així com la sobreexplotació dels estocs pesquers per a la producció de farina de peix. Aquesta informació va ser essencial per comparar de manera efectiva les fonts de proteïna tradicionals amb les alternatives basades en insectes.

Aquest enfocament metodològic assegura que la revisió sigui exhaustiva, rigorosa i basada en dades fiables, permetent obtenir conclusions sòlides sobre el potencial dels insectes com a font de proteïna alternativa.

RESULTATS

ESPÈCIES SEL·LECCIONADES

Les espècies d'insectes més explotades tant per a fins alimentaris (entomofàgia) com per a alimentació en ramaderia inclouen el cuc de la farina (*Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758), la mosca soldat negra (*Hermetia illuscens* Linnaeus, 1758) i el grill domèstic (*Acheta domesticus* Linnaeus, 1758) (Fig. 1) (Ortiz et al., 2016). Aquests insectes han guanyat prominència a la indústria a causa de la seva capacitat per adaptar-se a entorns de cria controlats i les seves característiques favorables per a la producció en massa.

Entre les característiques que fan que aquestes espècies siguin ideals per a la cria a gran escala es troben els requeriments ambientals, la taxa de reproducció elevada, la capacitat d'aprofitar una àmplia varietat de fonts alimentàries i el moderat consum hídric i baix requeriment d'espai per a la seva producció. A més, destaquen pel contingut nutricional, sent una valuosa font de proteïnes i altres nutrients essencials per al bestiar. A més, aquestes espècies tenen una capacitat notable per consumir i reciclar restes orgàniques, cosa que les converteix en importants agents en la gestió de residus i en la promoció de pràctiques sostenibles en la producció d'aliments (van Zanten et al., 2015). Aquestes característiques fan que aquests insectes siguin particularment atractius tant des del punt de vista econòmic com ambiental en el context de la producció de pinso per a bestiar.



Figura 1: Estadis adults de A) mosca soldat negra, *Hermetia illuscens*. B) cuc de la farina, *Tenebrio molitor*. C) grill domèstic, *Acheta domesticus*.

La classificació taxonòmica d'aquestes espècies es pot observar en la taula 1:

Nom científic	<i>Hermetia illuscens</i>	<i>Tenebrio molitor</i>	<i>Acheta domesticus</i>
Clase	Insecta	Insecta	Insecta
Ordre	Diptera	Coleoptera	Orthoptera
Família	Stratiomyidae	Tenebrionidae	Gryllidae
Gènere	Hermetia	Tenebrionidae	Acheta
Espècie	Illuscens	Molitor	Domesticus

Taula 1: Classificació taxonòmica d'*Hermetia illuscens*, *Tenebrio molitor* i *Acheta domesticus*.

CICLE BIOLÒGIC

L'estudi del cicle biològic és fonamental per determinar la viabilitat i eficiència de la cria d'insectes com a font de pinso per a animals monogàstriques. S'avaluaran variables clau com el nombre d'ous per ovoposició, el període d'engreix i els cicles d'engreix per any, ja que aquests factors són determinants en l'eficiència i productivitat de la seva cria a gran escala (Huis, 2013a).

Número d'ous per ovoposició.

El nombre d'ous per ovoposició és una mesura crítica de la fecunditat d'una espècie i el seu potencial reproductiu. Aquesta variable indica la quantitat d'ous que una femella pot dipositar en una sola posta, cosa que influeix directament en la taxa de reposició de la població i l'escalabilitat de la producció (Oonincx & Boer, 2012).

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): Aquesta espècie pot pondre entre 500 i 900 ous per ovoposició, cosa que reflecteix una alta capacitat reproductiva (Diener et al., 2009).

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Les femelles d'aquesta espècie dipositen entre 200 i 500 ous per ovoposició (Kotsou et al., 2023).

Grills (*Acheta domesticus*): Els grills ponen entre 100 i 200 ous per ovoposició, cosa que és menor en comparació amb les altres dues espècies estudiades (Huis, 2013a).

Període d'engreix

El període d'engreix es refereix al temps necessari perquè les larves o nimfes assoleixin l'estadi adequat per al seu processament. Aquest període és crucial per a la planificació dels cicles de producció i l'optimització dels recursos (Makkar et al., 2014). A més de la durada del període d'engreix, és important considerar quin estadi de desenvolupament de l'insecte s'utilitza per a la producció de pinso, ja que això influeix en el valor nutritiu del producte final i l'eficiència del procés de cria.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): El període d'engreix és relativament curt, de 14 a 18 dies, cosa que permet múltiples cicles de producció a l'any (Craig Sheppard et al., 1994). Per a la producció de pinso, s'utilitzen principalment les larves en l'estadi final abans de la pupació, ja que en aquest punt han acumulat una quantitat significativa de nutrients (Diener et al., 2009).

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Aquesta espècie requereix entre 56 i 70 dies per completar el període d'engreix, cosa que implica un cicle de producció més llarg (van Broekhoven et al., 2015). En el cas del cuc de la farina, s'utilitzen també les larves en l'estadi final de desenvolupament, abans que es transformin en pupes, ja que són més riques en proteïnes i greixos (Kotsou et al., 2023).

Grills (*Acheta domesticus*): El període d'engreix dels grills varia entre 35 i 45 dies, posicionant-se entre els altres dos insectes en termes de durada del cicle ((Huis, 2013a). Per a la producció de pinso, s'utilitzen principalment els adults, ja que ofereixen un bon equilibri de proteïnes i altres nutrients essencials (Huis, 2013a).

Cicles d'engreix anual

Els cicles d'engreix per any representen la freqüència amb la que es pot dur a terme un cicle complet de cria, des de la producció fins a l'assoliment de l'estadi comercial, en un any. Aquesta variable és essencial per avaluar la productivitat anual de cada espècie i la seva viabilitat econòmica a gran escala. La capacitat de realitzar múltiples cicles de producció anuals permet maximitzar l'eficiència dels recursos utilitzats, incloent-hi l'espai, l'alimentació i la mà d'obra, i garantir una producció contínua de biomassa d'alta qualitat per a la fabricació de pinsos (Henry et al., 2015).

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*)

La mosca soldat negra es distingeix per tenir un cicle de vida relativament curt, amb un període d'engreix de només 14 a 18 dies. Aquesta rapidesa en el desenvolupament permet realitzar fins a 20 cicles de producció per any, sempre que es mantinguin les condicions ambientals òptimes (Diener et al., 2009). Aquesta espècie és particularment avantatjosa per a la producció industrial de pinsos, ja que la seva alta capacitat reproductiva i ràpid creixement asseguren una oferta constant de larves nutritives.

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*)

El cuc de la farina té un període d'engreix més llarg, de 56 a 70 dies, la qual cosa limita el nombre de cicles de producció anuals a entre 4 i 6 (van Broekhoven et al., 2015). Tot i així, aquesta espècie continua sent viable per a la producció de pinsos gràcies al seu alt valor nutricional i la seva capacitat per convertir una àmplia varietat de subproductes agrícoles en biomassa. El major període d'engreix implica una gestió més complexa i una planificació acurada dels cicles de producció per assegurar la màxima eficiència.

Grills (*Acheta domesticus*)

Els grills tenen un període d'engreix que varia entre 35 i 45 dies, permetent entre 8 i 10 cicles de producció per any (Huis, 2013a). La capacitat dels grills de completar múltiples cicles anuals, combinada amb la seva elevada taxa de conversió alimentària, els fa una opció atractiva per a la producció de pinsos. A més, els grills són coneguts per la seva resistència a les malalties i la seva capacitat per prosperar en diverses condicions ambientals, fet que facilita la seva cria en una àmplia gamma d'entorns.

Espècie	Nº Ous per ovoposició	Període d'engreix, (dies)	Cicles anuals	Estadi d'explotació
<i>Hermetia illucens</i>	500-900	14-18	Finsa a 20	Larva (estadi final)
<i>Tenebrio molitor</i>	200-500	56-70	4-6	Larva (estadi final)
<i>Acheta domesticus</i>	100-200	35-45	8-10	Adult

Taula 2: Comparativa del cicle biològic de les espècies d'insectes. S'hi inclou el nombre d'ous per ovoposició, el període d'engreix en dies, el nombre de cicles d'engreix per any i l'estadi utilitzat per a la producció de pinsos.

La freqüència dels cicles d'engreix per any té implicacions directes en la rendibilitat i la sostenibilitat de la producció de pinsos a base d'insectes. Una major quantitat de cicles anuals permet una producció més intensiva i un millor aprofitament dels recursos, mentre que menys cicles poden indicar una necessitat de major inversió en infraestructura per mantenir la producció contínua.

REQUERIMENTS AMBIENTALS

Els insectes són ectotèrmics pel que depenen en forta mesura de les condicions ambientals per satisfer els seus requeriments de creixement i desenvolupament (Bjørge et al., 2018). Per aquesta raó es fonamental en el context de la producció comercial de pinsos, comprendre i gestionar correctament els paràmetres ambientals que influeixen en el desenvolupament i reproducció de cada espècie. Els paràmetres que es descriuen a continuació inclouen la temperatura, la humitat relativa, els fotoperíodes i la densitat poblacional o d'individus, els quals, desempenyen rols crítics en el metabolisme, el comportament i la fisiologia dels insectes criats.

Temperatura.

La temperatura afecta directament el creixement i desenvolupament de les etapes i diferents estadis de les diferents espècies independentment de la disponibilitat d'aliment (Gullan & Cranston, 2014).

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): Aquesta espècie prospera a temperatures compreses entre 24 i 29,3 °C (Booth & Sheppard, 1984). Aquest rang de temperatura és ideal per al desenvolupament ràpid de les larves i per mantenir una alta taxa de reproducció.

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Els cucs de la farina creixen millor a temperatures entre 25 i 28 °C (Gu, Hui-Yeon et al., 2013; Kim et al., 2015; Ludwig, 1956; Punzo, 1975). Aquestes temperatures permeten un desenvolupament estable i minimitzen l'estrès tèrmic, assegurant una producció contínua.

Grills (*Acheta domesticus*): Els grills requereixen temperatures una mica més altes, entre 30 i 35 °C (Clifford & Woodring, 2009; Ghouri, 1961; Roe et al., 1980), per aconseguir una òptima taxa de creixement i una reproducció eficient.

Humitat relativa

Moltes espècies requereixen nivells específics d'humitat per al seu correcte desenvolupament i creixement donat que la majoria no beuen, però depenen en gran mesura de l'aigua que conté l'aliment. La humitat influeix en processos com la muda, la reproducció i l'eclosió dels ous (Buxton, 1932). Nivells inadequats d'humitat relativa poden provocar deshidratació o problemes en el desenvolupament dels insectes. Mantenir uns rangs òptims d'humitat relativa dins de l'entorn de cria es fonamental per maximitzar la producció i minimitzar les pèrdues per mortalitat.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): Requereix una humitat relativa del 50-99% (Furman et al., 1959). Aquesta humitat ajuda a mantenir les larves hidratades i evita la dessecació, essencial per al seu ràpid creixement.

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Necessita una humitat relativa del 75% (Mirzaeva et al., 2020; Punzo, 1975). Aquest nivell de humitat és suficient per mantenir les larves saludables sense fomentar el creixement de fongs o bacteris.

Grills (*Acheta domesticus*): Requereixen una humitat relativa del 50% (Clifford & Woodring, 2009).

Fotoperíodes (hores llum-foscor)

Els fotoperíodes, es a dir la duració dels períodes de llum i foscor en un cicle de 24h, poden afectar la fisiologia dels insectes. Varis estudis han comprovat que multitud d'espècies estan influenciades per la longitud del dia i la nit per regular processos com la reproducció, el creixement, la durada dels diferents estadis i altres. De manera que controlar els fotoperíodes pot augmentar el rendiment de producció reduïnt el temps entre estadis.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): En aquesta espècie es veu beneficiat el seu desenvolupament i reproducció de manera significativa en condicions de foscor, la durada dels estadis sembla reduir-se en trobar-se les 24 hores en absència de llum (Ferdousi & Sultana, 2021).

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Tot i tractar-se d'una espècie fototròpica negativa, estudis recents mostren que el desenvolupament de la larva és òptim en condicions de dia llarg, amb temps de desenvolupament més baixos aconseguits en condicions fotoperiòdiques de 14 hores llum, 10 hores foscor (Kim et al., 2015).

Grills (*Acheta domesticus*): Tot i tractar-se d'una espècie nocturna, necessita un fotoperíode de 12 hores de llum i 12 hores de foscor o 14 hores llum 10 foscor per mantindre el seu cicle circadià i el seu cicle reproductiu saludable a més, d'un creixement uniforme (Clifford & Woodring, 2009).

Densitat

La densitat d'individus al sistema de cria és un factor biòtic crític que pot influir en la competència per recursos com l'aliment, l'espai i la llum. Una alta densitat de població pot conduir a la competència intensa i l'estrès, cosa que pot afectar negativament el creixement i la reproducció dels insectes. D'altra banda, una baixa densitat de població pot resultar en un ús ineficient dels recursos i una eficàcia menor en la producció. Per tant, és important trobar un equilibri adequat en la densitat de població per maximitzar l'eficiència de cria i optimitzar el rendiment de producció biològica.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): La densitat òptima és d'uns 12 individus per dm². Aquesta densitat permet un creixement saludable i minimitza la competència per l'aliment (Parra et al., 2015).

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Per desenvolupar-se en condicions òptimes, s'ha de trobar en una densitat aproximada de 8,4 individus per dm² (Morales-Ramos et al., 2012).

Grills (*Acheta domesticus*): Els grills requereixen una densitat d'uns 4 individus per dm² per prevenir l'estrès i el canibalisme, assegurant així una bona salut i un creixement òptim (Patton, 1978).

	Temperatura (°C)	Humitat relativa (%)	Hores Llum-Foscor	Densitat individus (individus/dm ²)
<i>Hermetia illucens</i>	24-29,3	50-99%	0L:24F	12 individus/dm ²
<i>Tenebrio molitor</i>	25-28	75%	14L:10F	8,4 individus/dm ²
<i>Acheta domesticus</i>	30-35	50%	12:12-14:10	4 individus/dm ²

Taula 3: Comparació dels requeriments ambientals per a la cria de la mosca soldat negra (*Hermetia illucens*), el cuc de la farina (*Tenebrio molitor*) i els grills (*Acheta domesticus*). Inclou els rangs de temperatura, humitat relativa, fotoperíode i densitat poblacional òptims per a cada espècie.

CAPACITAT DE CONVERSIÓ DE RESIDUS ORGÀNICS EN BIOMASSA ÚTIL

La capacitat de conversió de residus orgànics en biomassa útil és un factor crític per a la sostenibilitat i l'eficiència de la cria d'insectes com a font de pinso animal. Aquest apartat exposa com les diferents espècies d'estudi poden convertir diversos tipus de residus orgànics en biomassa d'alt valor nutricional. Es consideren variables com la dieta específica de cada espècie, la taxa de creixement, la relació de conversió de proteïna (RCP) i el coeficient de conversió alimentària (FCR).

Dieta

La dieta dels insectes és fonamental per determinar la seva capacitat de conversió de residus orgànics en biomassa útil. Cada espècie d'insecte pot tenir preferències i toleràncies específiques cap a diferents tipus de residus orgànics.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): Aquesta espècie és altament versàtil en la seva dieta i pot alimentar-se d'una àmplia varietat de residus orgànics, incloent-hi deixalles d'aliments, fems i subproductes agrícoles (Diener et al., 2009; Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a). Aquesta capacitat de consumir residus diversos la fa especialment adequada per a la gestió de residus i la producció de biomassa.

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Els cucs de la farina s'alimenten principalment de residus de cereals, productes de fleca i altres subproductes vegetals (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a; van Broekhoven et al., 2015). Tot i que la seva dieta és més limitada en comparació amb la mosca soldat negra, segueixen sent eficaços en la conversió de certs tipus de residus.

Grills (*Acheta domesticus*): Els grills tenen una dieta variada que inclou fruites, verdures i subproductes agrícoles (Huis, 2013a; Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a). Aquesta flexibilitat dietètica els permet adaptar-se a diferents tipus de residus orgànics.

Taxa de Creixement

La taxa de creixement és una mesura que indica la velocitat amb què els insectes converteixen l'aliment en biomassa útil. Es calcula com l'increment de pes o massa dels insectes en un període de temps determinat. Una taxa de creixement elevada suggereix que els insectes són capaços de processar eficientment l'aliment, convertint-lo ràpidament en massa corporal. Aquesta variable és crucial per avaluar la viabilitat

econòmica de la cria d'insectes, ja que un creixement més ràpid es tradueix en cicles de producció més curts i una major rendibilitat.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): Les larves de la mosca soldat negra poden créixer entre 5 i 6 grams per setmana quan s'alimenten de residus orgànics d'alta qualitat (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a). Aquesta ràpida taxa de creixement contribueix a una conversió eficient de residus en biomassa.

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Els cucs de la farina tenen una taxa de creixement d'aproximadament 1,3 a 1,5 grams per setmana (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a). Tot i que és més lenta que la de la mosca soldat negra, segueix sent significativa per a la producció de biomassa.

Grills (*Acheta domesticus*): Els grills creixen a una taxa d'1,8 a 2,0 grams per setmana (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a), cosa que els permet convertir els residus en biomassa de manera efectiva.

Relació de Conversió de Proteïna (RCP)

La relació de conversió de proteïna (RCP) és una mesura que indica l'eficiència amb què els insectes converteixen l'aliment en proteïna corporal. Es calcula com el percentatge de proteïna present en la biomassa dels insectes en relació a la quantitat d'aliment consumit. Aquesta variable és especialment important en la cria d'insectes per a l'alimentació animal, ja que la proteïna és un component essencial en les dietes dels animals monogàstrics.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): Té un RCP d'entre 36 i 42% (Craig Sheppard et al., 1994), cosa que reflecteix una bona capacitat de conversió de proteïna.

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Els cucs de la farina presenten un RCP d'entre 47 i 50% (van Broekhoven et al., 2015), cosa que indica una alta eficiència en la conversió de proteïna.

Grills (*Acheta domesticus*): Els grills tenen un RCP d'entre 58 i 62% (Huis, 2013a), posicionant-los com els més eficients en la conversió de proteïna entre les espècies estudiades.

Feed Conversion Ratio (FCR)

L'índex de conversió alimentària (FCR) és una mesura clau de l'eficiència amb què els insectes converteixen l'aliment consumit en biomassa corporal. Es calcula com la quantitat d'aliment necessària per produir una unitat de pes d'insecte. Un FCR més baix indica una major eficiència, ja que es requereix menys aliment per obtenir la mateixa quantitat de biomassa. Aquesta variable proporciona una visió clara de l'eficàcia del procés de cria en termes de recursos alimentaris utilitzats.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): Presenta un FCR d'entre 1,4 i 2,6 kg d'aliment per kg de biomassa en funció de la dieta sumbministrada (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Té un FCR d'entre 3,8 i 6,1 kg d'aliment per kg de biomassa (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

Grills (*Acheta domestica*): Els grills tenen un FCR d'entre 2,3 i 6,1 kg d'aliment per kg de biomassa (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

	Dieta	Taxa de Creixement (g/setmana)	RCP (%)	FCR (Kg aliment/kg biomassa)
<i>Hermetia illucens</i>	Residus orgànics diversos	5-6	36-42%	1,4-2,6
<i>Tenebrio molitor</i>	Residus de cereals	1,3-1,5	47-50%	3,8-6,1
<i>Acheta domestica</i>	Fruites, verdures, subproductes agrícoles	1,8-2	58-62%	2,3-6,1

Taula 4: Comparació de la capacitat de conversió de residus orgànics en biomassa útil entre la les tres espècies estudiades.. Es detallen les dietes, les taxes de creixement (g/setmana), la relació de conversió de proteïna (RCP) i l'index de conversió alimentària (FCR).

VALOR NUTRICIONAL DE LA BIOMASSA PRODUÏDA

El valor nutricional de la biomassa produïda pels insectes és un aspecte fonamental per determinar la seva idoneïtat com a pinso per a animals monogàstrics. Aquest valor es mesura en termes del contingut de proteïnes, greixos, i aminoàcids essencials presents en la biomassa dels insectes. Avaluar aquests components ens permet comprendre millor la qualitat nutricional de la biomassa i comparar-la amb altres fonts tradicionals de proteïna animal, com la farina de peix o la soja.

Contingut de Proteïnes

Les proteïnes són macromolècules essencials per al creixement, manteniment i reparació dels teixits animals. En els insectes, el contingut de proteïnes és un indicador clau del seu valor nutricional com a font d'aliment.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): La biomassa de les larves de la mosca soldat negra conté entre un 38% i un 46% de proteïnes (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Els cucs de la farina tenen un contingut proteic d'aproximadament un 45% a un 69% (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

Grills (*Acheta domestica*): La biomassa dels grills conté entre un 52% i un 74% de proteïnes (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

Contingut de Greixos

Els greixos són una font important d'energia i àcids grassos essencials necessaris per a diverses funcions biològiques. El contingut de greixos en els insectes varia segons l'espècie i la seva dieta.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): Les larves de la mosca soldat negra tenen un contingut de greixos d'entre un 21% i un 35% (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Els cucs de la farina contenen aproximadament un 19% a un 36% de greixos (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

Grills (*Acheta domestica*): Els grills presenten un contingut de greixos d'entre un 6,5% i un 35% (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

Aminoàcids Essencials

Els aminoàcids essencials són aquells que els animals no poden sintetitzar per si mateixos i que han de ser obtinguts a través de la dieta. La presència d'aquests aminoàcids és crucial per al correcte desenvolupament i la salut dels animals.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): Les larves de la mosca soldat negra contenen tots els aminoàcids essencials necessaris per al creixement dels animals monogàstrics (Craig Sheppard et al., 1994)

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Els cucs de la farina també proporcionen un perfil complet d'aminoàcids essencials, incloent-hi lisina, metionina i treonina (Kotsou et al., 2023)

Grills (*Acheta domesticus*): Els grills són rics en aminoàcids essencials, amb un contingut destacable de leucina, valina i isoleucina (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

	Contingut de proteïnes %	Contingut de greixos %	Aminoàcids essencials a destacar
<i>Hermetia illucens</i>	38-46	21-35	Tots els aminoàcids essencials
<i>Tenebrio molitor</i>	45-69	19-36	Lisina, metionina, treonina
<i>Acheta domesticus</i>	52-74	6,5-35	Leucina, valina, isoleucina
Farina de peix	65-72	8,12-12	Lisina, metionina, cisteïna
Farina de soja	44-55	1,5-2,5	Baixa en metionina

Taula 5: Comparació del valor nutricional entre les espècies estudiades i les fonts de pinsos tradicional, farina de peix i farina de soja. Es detallen els continguts de proteïnes, greixos i aminoàcids essencials per a cada font.

SOSTENIBILITAT

La sostenibilitat és un factor crucial a considerar en la producció de pinsos per a animals monogàstric. Aquest apartat examina diversos aspectes de la sostenibilitat en la cria d'insectes, comparant-los amb fonts tradicionals de pinso com la farina de peix i la farina de soja. Es tractaran els següents aspectes: consum hídric, emissions de gasos d'efecte hivernacle i eficiència en l'ús de terres. Aquests paràmetres ajuden a avaluar l'impacte ambiental global de cada opció de pinso.

Consum Hídric

El consum hídric és una mesura del volum d'aigua necessari per produir una unitat de biomassa. Aquesta variable és de vital importància ja que es tracta d'un recurs limitat i una gestió eficient és essencial per a la sostenibilitat.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): La cria de la mosca soldat negra requereix aproximadament 1.000 litres d'aigua per quilogram de proteïna produïda (Huis, 2013c; Miglietta et al., 2015).

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): El consum hídric per al cuc de la farina és d'aproximadament 4.000 litres d'aigua per quilogram de proteïna (Huis, 2013c).

Grills (*Acheta domesticus*): Els grills requereixen uns 8.000 litres d'aigua per quilogram de proteïna produïda (Huis, 2013c).

Farina de peix: La producció de farina de peix utilitza aproximadament 22.000 litres d'aigua per quilogram de proteïna (Pimentel et al., 1997).

Farina de soja: El consum hídric per a la producció de farina de soja és de 2.150 a 3.000 litres d'aigua per quilogram de proteïna (Mekonnen & Hoekstra, 2011).

Emissions de Gasos d'Efecte Hivernacle (GEH)

Les emissions de GEH associades a la producció de pinso són un indicador clau del seu impacte ambiental. Les emissions es mesuren en equivalents de diòxid de carboni (CO₂eq).

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): La producció de proteïna de mosca soldat negra genera aproximadament 2,0 kg de CO₂eq per quilogram de proteïna (Miglietta et al., 2015; Oonincx et al., 2010).

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): Els cucs de la farina produeixen unes emissions de 3,0 kg de CO₂eq per quilogram de proteïna (Oonincx et al., 2010).

Grills (*Acheta domesticus*): La producció de proteïna de grill genera aproximadament 1,5 kg de CO₂eq per quilogram de proteïna (Oonincx et al., 2010).

Farina de peix: La farina de peix té unes emissions de 5,0 kg de CO₂eq per quilogram de (Pelletier & Tyedmers, 2007).

Farina de soja: Segons estudis recents, la producció de farina de soja genera entre 2,7 i 3,2 kg de CO₂eq per quilogram de proteïna (Argonne National Laboratory, 2023; U.S. Soybean Export Council, 2023).

Eficiència en l'Ús de Terres

L'eficiència en l'ús de terres mesura l'extensió necessària per produir una unitat de biomassa proteica. Aquest paràmetre és crucial per evitar un us excessiu d'espais.

Mosca soldat negra (*Hermetia illucens*): La cria de la mosca soldat negra requereix aproximadament 15 m² per tonelada de proteïna (Huis, 2013c).

Cuc de la farina (*Tenebrio molitor*): La producció de cucs de la farina utilitza uns 45 m² per tonelada de proteïna (Huis, 2013c).

Grills (*Acheta domesticus*): Els grills necessiten uns 30 m² per tonelada de proteïna (Huis, 2013c).

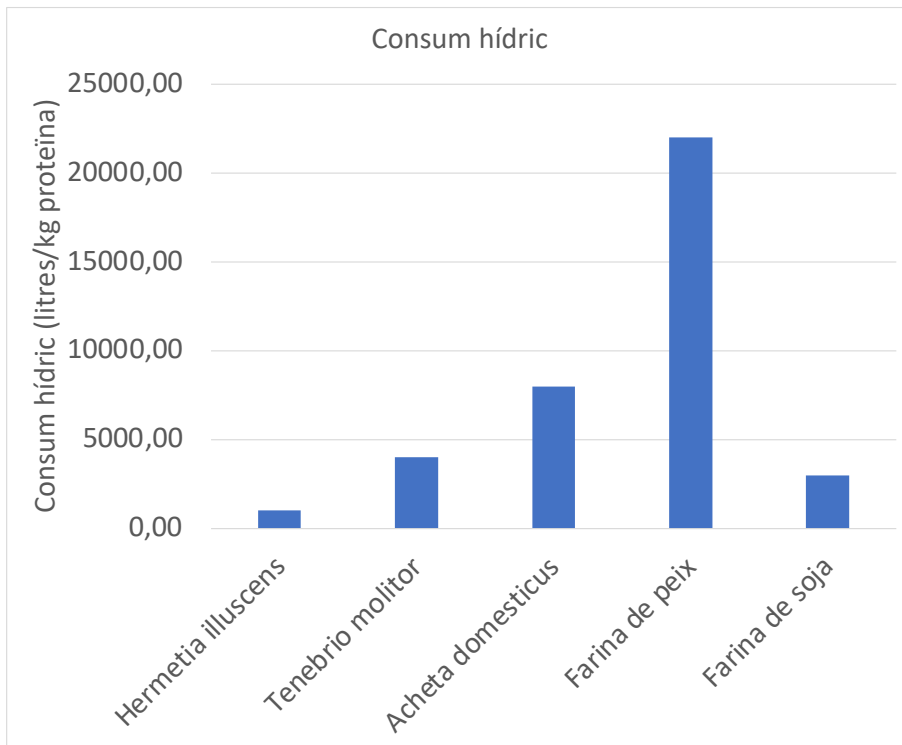
Farina de peix: La farina de peix requereix aproximadament 56 m² per tonelada de proteïna (Pelletier & Tyedmers, 2007).

Farina de soja: Segons estudis recents, la producció de farina de soja utilitza uns 240 m² per tona de proteïna (Argonne National Laboratory, 2023; U.S. Soybean Export Council, 2023). Aquesta dada mostra una major necessitat de terres comparat amb altres fonts proteiques, fet que pot afectar la seva sostenibilitat en termes de l'ús del sòl.

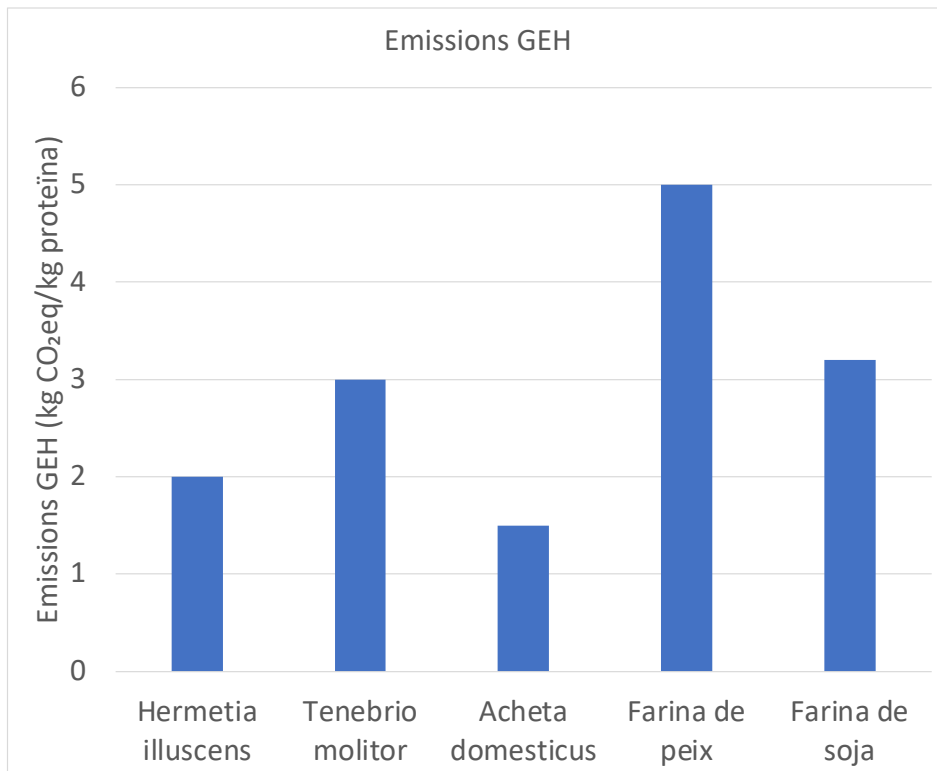
En aquest context, la cria d'insectes presenta avantatges addicionals, ja que es pot realitzar en escales verticals, reduint encara més l'ús de terres. La cria vertical permet optimitzar l'espai disponible i augmentar la producció en àrees urbanes i periurbanes (Halloran et al., 2017). Segons van Huis (2013), la cria de la mosca soldat negra requereix aproximadament 15 m² per tonelada de proteïna, però amb tecnologies de cria vertical, aquesta necessitat es pot reduir significativament, augmentant així la sostenibilitat i eficiència del procés.

	Consum hídric (litres/kg proteïna)	Emissions GEH (kg CO ₂ eq/kg proteïna)	Eficiència en l'ús de terres (m ² /tonelada proteïna)
<i>Hermetia illucens</i>	1.000	2,0	15
<i>Tenebrio molitor</i>	4.000	3,0	45
<i>Acheta domesticus</i>	8.000	1,5	30
Farina de peix	22.000	5,0	56
Farina de soja	2.150-3.000	2,7-3,2	240

Taula 6: Comparació del consum hídric, les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) i l'eficiència en l'ús de terres entre diferents fonts de proteïna d'insecte i fonts tradicionals, la farina de peix i la farina de soja. Els valors indiquen la sostenibilitat de cada font en termes de litres d'aigua per quilogram de proteïna, kg de CO₂eq per quilogram de proteïna, i m² per tona de proteïna produïda.



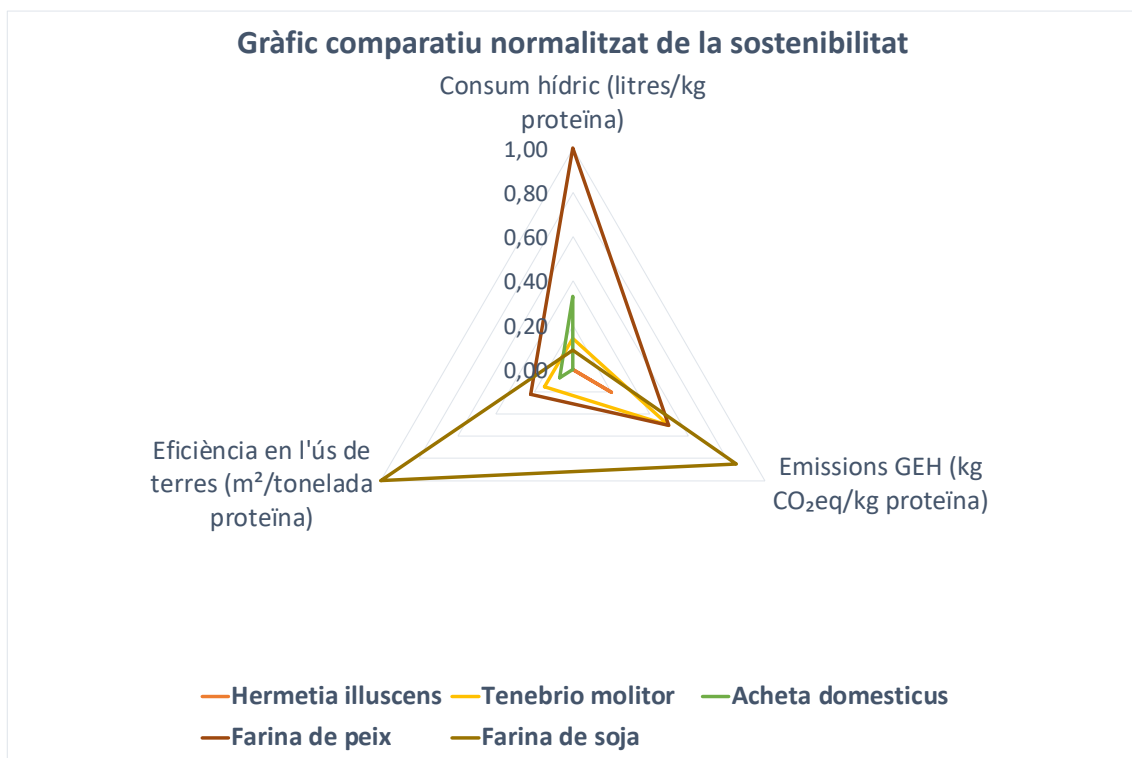
Gràfic 1: Gràfic comparatiu del volum d'aigua necessari per produir un quilogram de proteïna entre diferents fonts de proteïna animal.



Gràfic 2: Gràfic comparatiu de les emissions de Gasos d'Efecte Hivernacle per Font de Proteïna



Gràfic 3: Gràfic comparatiu del l'ús de de les terres per Font de Proteïna



Gràfic 4: Gràfic de radar comparatiu amb les dades Normalitzades. Mostra una comparació visual de la sostenibilitat entre les diferents fonts de proteïna animal. Les dades estan normalitzades per permetre una comparació equitativa entre el consum hídic, les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) i l'ús de terres. Les fonts de proteïna inclouen la mosca soldat negra (*Hermetia illucens*), el cuc de la farina (*Tenebrio molitor*), els grills (*Acheta domesticus*), la farina de peix i la farina de soja.

DISCUSSIÓ

Assoliment dels objectius

Els objectius d'aquest estudi s'han assolit satisfactòriament. S'ha determinat el cicle biològic òptim per a les espècies d'insectes *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor* i *Acheta domesticus*. També s'ha avaluat l'eficiència en la conversió de residus orgànics en biomassa, el valor nutricional de la biomassa produïda i la sostenibilitat de la producció de pinso a base d'insectes en termes de consum hídric, emissions de gasos d'efecte hivernacle i ús de terres. La revisió comparativa de les fonts de proteïna tradicionals versus la producció de proteïnes a partir d'insectes utilitzant dades de la literatura científica existent també ha estat completada amb èxit.

El cicle biològic de les espècies estudiades ha permès determinar diferents aspectes com la posta d'ous, el període d'engreix i el temps necessari per assolir la maduresa. *Hermetia illucens* destaca per la seva ràpida taxa de creixement, amb un període d'engreix de només 14 a 18 dies, cosa que permet fins a 20 cicles de producció per any (Diener et al., 2009). En canvi, *Tenebrio molitor* requereix entre 56 i 70 dies per completar el seu cicle, limitant el nombre de cicles anuals a entre 4 i 6 (van Broekhoven et al., 2015). *Acheta domesticus* es posiciona intermediàriament, amb un període d'engreix de 35 a 45 dies, permetent entre 8 i 10 cicles per any .

Confirmació de les hipòtesis

Les hipòtesis inicials plantejades en aquest estudi s'han confirmat. Es preveia que la producció de pinso a base d'insectes seria una alternativa més sostenible i amb un menor impacte ambiental en termes de consum de recursos naturals i emissions de gasos d'efecte hivernacle en comparació amb les fonts de proteïna tradicionals com la soja i la farina de peix. Els resultats obtinguts mostren que les tres espècies d'insectes estudiades, especialment *Hermetia illucens*, ofereixen avantatges significatius en termes de sostenibilitat. Això es deu a la seva alta eficiència en la conversió de residus, menor consum hídric i emissions de gasos d'efecte hivernacle, així com a la seva capacitat per reciclar residus orgànics (Miglietta et al., 2015; Oonincx, Broekhoven, et al., 2015b).

Hermetia illucens pot convertir una àmplia varietat de residus orgànics en biomassa útil, incloent deixalles d'aliments, fems i subproductes agrícoles (Diener et al., 2009; Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a). Aquesta versatilitat dietètica contribueix a la seva alta eficiència en la conversió de proteïnes, amb una relació de conversió de proteïna (RCP) d'entre 36 i 42% (Craig Sheppard et al., 1994) .A més, el seu índex de conversió alimentària (FCR) oscil·la entre 1,4 i 2,6 kg d'aliment per kg de biomassa, cosa que reflecteix una excel·lent eficiència en l'ús de recursos alimentaris (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015a).

Tenebrio molitor també presenta una bona capacitat de conversió de residus, tot i que la seva dieta és més limitada als residus de cereals i productes de fleca (Oonincx, van Broekhoven, et al., 2015; van Broekhoven et al., 2015). El seu RCP d'entre 47 i 50% i un FCR d'entre 3,8 i 6,1 kg d'aliment per kg de biomassa el fan una opció viable, encara que menys eficient que *Hermetia illucens*.

Acheta domesticus destaca per la seva elevada eficiència en la conversió de proteïnes, amb un RCP d'entre 58 i 62% i un FCR d'entre 2,3 i 6,1 kg d'aliment per kg de biomassa (Huis, 2013b) . La seva dieta variada, que inclou fruites, verdures i subproductes agrícoles, li permet adaptar-se a diferents tipus de residus orgànics, fent-lo una opció molt flexible per a la producció de pinso.

Comparació amb coneixements previs

Els resultats presentats en aquest estudi confirmen els coneixements establerts fins al moment. Diversos estudis anteriors han demostrat que els insectes poden ser una font de proteïna viable i sostenible per a la producció de pinso animal. Les dades recopilades sobre l'eficiència alimentària, el valor nutricional i els requeriments ambientals de *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor* i *Acheta domesticus* són consistents amb els resultats obtinguts en investigacions prèvies. Aquest estudi reforça la idea que els insectes poden contribuir significativament a la sostenibilitat ambiental i a la seguretat alimentària global.

En comparació amb les fonts de proteïna tradicionals, com la soja i la farina de peix, els insectes presenten un perfil ambiental més favorable. La producció de soja està associada amb la desforestació massiva, especialment a regions com l'Amazones, mentre que la farina de peix contribueix a la sobreexplotació dels estocs pesquers (Fearnside, 2001; Naylor et al., 2000). Aquests impactes ambientals no només són significatius, sinó que també són insostenibles a llarg termini.

En termes de consum hídric, *Hermetia illucens* requereix aproximadament 1.000 litres d'aigua per quilogram de proteïna produïda, molt inferior als 22.000 litres necessaris per a la producció de farina de peix (Huis, 2013c; Pimentel et al., 1997). *Tenebrio molitor* i *Acheta domesticus* també mostren avantatges significatius amb consums hídrics de 4.000 i 8.000 litres per quilogram de proteïna respectivament (Huis, 2013c).

Les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) associades a la producció de pinso a base d'insectes són també notablement inferiors. *Hermetia illucens* genera aproximadament 20 kg de CO₂eq per quilogram de proteïna, mentre que la producció de farina de peix arriba als 50 kg de CO₂eq per quilogram de proteïna (Miglietta et al., 2015; Pelletier & Tyedmers, 2007). *Tenebrio molitor* i *Acheta domesticus* tenen emissions de 30 i 15 kg de CO₂eq per quilogram de proteïna respectivament, evidenciant un perfil ambiental més sostenible (Oonincx, 2012)

A més, l'ús de terres associat a la producció de proteïnes a partir d'insectes és significativament menor en comparació amb les fonts de proteïna tradicionals. La producció de *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor* i *Acheta domesticus* requereix només una petita fracció de la superfície necessària per a la producció de soja o farina de peix. Això es deu al fet que els insectes poden ser criats en sistemes verticals d'alta densitat, maximitzant l'ús de l'espai disponible i reduint la pressió sobre els ecosistemes naturals i les terres agrícoles. Aquesta eficiència en l'ús de terres contribueix a la sostenibilitat general del sistema de producció de pinso a base d'insectes, ajudant a conservar els hàbitats naturals i reduint la desforestació associada amb l'agricultura extensiva (Oonincx, Broekhoven, et al., 2015b)

CONCLUSIONS

Efficiency in Waste Conversion and Nutritional Value: The three insect species studied, *Hermetia illucens*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus*, have demonstrated high efficiency in converting organic waste into protein-rich biomass. These species not only provide a balanced nutritional profile that meets the dietary needs of monogastric animals but also optimize the use of waste, thus contributing to the sustainable management of natural resources. The ability of these species to recycle a wide variety of organic waste, including food scraps and agricultural by-products, highlights their potential to reduce dependence on traditional protein sources and promote a more circular and ecological approach to feed production.

Reduced Environmental Impact: Research has revealed that protein production from insects has a significantly lower environmental impact compared to traditional protein sources. This includes reductions in water consumption, greenhouse gas emissions, and more efficient land use. In particular, the insect species studied require less water and generate fewer emissions during their production, thereby contributing to climate change mitigation and the preservation of natural resources. The efficiency in land use is also notably higher, as insects can be reared in confined spaces and vertical production systems, maximizing the use of available space and reducing pressure on natural ecosystems.

Practical Implications and Future Directions: The integration of insect-based feed production into agri-food practices offers a sustainable and efficient alternative for animal nutrition. Continued research is recommended to improve breeding techniques and explore the adoption of these practices on a larger scale. This includes optimizing breeding conditions, improving insect biomass processing, and analyzing the economic and social impacts of implementing this technology on a large scale. Additionally, it is essential to develop appropriate regulatory frameworks to ensure the safety and quality of insect-derived products, as well as to foster cooperation between researchers, companies, and policymakers to facilitate the transition towards more sustainable food systems.

General Conclusion: This study confirms that insect farming for animal feed production is a viable and sustainable alternative to traditional protein sources such as soy and fishmeal. The insect species studied not only offer an adequate nutritional profile but also contribute to environmental sustainability by reducing water consumption, greenhouse gas emissions, and land use. Implementing this alternative in the agri-food industry could revolutionize feed production, providing innovative and sustainable solutions for the future of animal feeding. Continued research in this field is essential to improve existing practices and ensure that potential benefits are maximized both environmentally and economically.

These conclusions highlight the importance of promoting policies and practices that encourage the use of insects in feed production, thereby contributing to global sustainability and food security. As more advanced technologies and infrastructures for insect farming are developed and implemented, greater efficiency and profitability in insect-based protein production can be expected. This will not only benefit the agri-food industry but also contribute to the protection of natural ecosystems and the mitigation of the adverse effects of climate change.

BIBLIOGRAFIA

Argonne National Laboratory. (2023). *Effects of soybean varieties on life-cycle greenhouse gas emissions of biodiesel and renewable diesel—Li—2023—Biofuels, Bioproducts and Biorefining—Wiley Online Library*. <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/bbb.2462>

Bjørge, J. D., Overgaard, J., Malte, H., Gianotten, N., & Heckmann, L.-H. (2018). Role of temperature on growth and metabolic rate in the tenebrionid beetles *Alphitobius diaperinus* and *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology*, 107, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2018.02.010>

Booth, D. C., & Sheppard, C. (1984). Oviposition of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Eggs, Masses, Timing, and Site Characteristics. *Environmental Entomology*, 13(2), 421-423. <https://doi.org/10.1093/ee/13.2.421>

Buxton, P. A. (1932). Terrestrial Insects and the Humidity of the Environment. *Biological Reviews*, 7(4), 275-320. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1962.tb01044.x>

Cabello, F. C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: A growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*, 8(7), 1137-1144. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x>

Clifford, C., & Woodring, J. (2009). Methods for rearing the house cricket, *Acheta domesticus* (L.), along with baseline values for feeding rates, growth rates, development times, and blood composition. *Journal of Applied Entomology*, 109, 1-14. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1990.tb00012.x>

Craig Sheppard, D., Larry Newton, G., Thompson, S. A., & Savage, S. (1994). A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology*, 50(3), 275-279. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)90102-3](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)90102-3)

Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research: The Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 27(6), 603-610. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>

FAO (Ed.). (2018). *Meeting the sustainable development goals*.

Fearnside, P. (2001). Soybean Cultivation as a Threat to the Environment in Brazil. *Environmental Conservation*, 28, 23-38. <https://doi.org/10.1017/S0376892901000030>

Ferdousi, L., & Sultana, N. (2021). *Impact of daylight duration on pupation and adult emergence of black soldier fly (Hermetia Illucens)*. 18-19.

Furman, D. P., Young, R. D., & Catts, Paul. E. (1959). *Hermetia illucens* (Linnaeus) as a Factor in the Natural Control of *Musca domestica* Linnaeus. *Journal of Economic Entomology*, 52(5), 917-921. <https://doi.org/10.1093/jee/52.5.917>

Ghuri, A. S. K. (1961). Home and Distribution of the House Cricket *Acheta domesticus* L. *Nature*, 192(4806), 1000-1000. <https://doi.org/10.1038/1921000a0>

Gu, Hui-Yeon, Kim, Seon-Gon, O, Hyeong-Geun, Kim, Jeong-Eun, Choi, Deok-Soo, Kim, Do-Ik, & Kim, Iksoo. (2013). Temperature-dependent Development Model of Larvae of Mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Korean journal of applied entomology*, 52(4), 387-394. <https://doi.org/10.5656/KSAE.2013.11.0.066>

Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2014). *The insects: An outline of entomology* (5. ed). Wiley

Blackwell.

Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>

Huis, A. van. (2013a). *Edible insects: Future prospects for food and feed security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Huis, A. van. (2013b). *Edible insects: Future prospects for food and feed security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Huis, A. van. (2013c). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, 58(Volume 58, 2013), 563-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>

Kim, S., Park, J., Lee, Y., Yoon, H., Lee, K., & Kim, N. (2015). Growth characteristics of mealworm *Tenebrio molitor*. *Journal of Sericultural and Entomological Science*, 53, 1-5. <https://doi.org/10.7852/jses.2015.53.1.1>

Kotsou, K., Chatzimitakos, T., Athanasiadis, V., Bozinou, E., Rumbos, C. I., Athanassiou, C. G., & Lalas, S. I. (2023). Enhancing the Nutritional Profile of *Tenebrio molitor* Using the Leaves of *Moringa oleifera*. *Foods*, 12(13), 2612. <https://doi.org/10.3390/foods12132612>

Ludwig, D. (1956). *Effects of Temperature and Parental Age on the Life Cycle of the Mealworm, Tenebrio Molitor Linnaeus (Coleoptera, Tenebrionidae)* | *Semantic Scholar*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Effects-of-Temperature-and-Parental-Age-on-the-Life-Ludwig/2bc74c566db59a0a9ae78a02ef40866f6d37ff11>

Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5), 1577-1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

Miglietta, P. P., De Leo, F., Ruberti, M., & Massari, S. (2015). Mealworms for Food: A Water Footprint Perspective. *Water*, 7(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/w7116190>

Mirzaeva, D. A., Khujamshukurov, N. A., Zokirov, B., Soxibov, B. O., & Kuchkarova, D. Kh. (2020). Influence of Temperature and Humidity on the Development of *Tenebrio molitor* L. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(5), 3544-3559. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.905.422>

Montero, D., Tort, L., Robaina, L., Vergara, J. M., & Izquierdo, M. S. (2001). Low vitamin E in diet reduces stress resistance of gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles. *Fish & Shellfish Immunology*, 11(6), 473-490. <https://doi.org/10.1006/fsim.2000.0324>

Morales-Ramos, J., Rojas, M., Kay, S., Shapiro-Ilan, D., & Tedders, W. (2012). Impact of Adult Weight, Density, and Age on Reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science*, 47, 208-220. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-47.3.208>

Naylor, R., Goldburg, R., Primavera, J., Kautsky, N., Beveridge, M., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., & Troell, M. (2000). Effect of Aquaculture on World Fish Supplies. *Nature*, 405, 1017-1024. <https://doi.org/10.1038/35016500>

Oninx, D. G. A. B. (2012). *Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment* | *PLOS ONE*. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0051145>

- Oonincx, D. G. A. B., & Boer, I. J. M. de. (2012). Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLOS ONE*, 7(12), e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>
- Oonincx, D. G. A. B., Broekhoven, S. van, Huis, A. van, & Loon, J. J. A. van. (2015a). Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLOS ONE*, 10(12), e0144601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>
- Oonincx, D. G. A. B., Itterbeeck, J. van, Heetkamp, M. J. W., Brand, H. van den, Loon, J. J. A. van, & Huis, A. van. (2010). An Exploration on Greenhouse Gas and Ammonia Production by Insect Species Suitable for Animal or Human Consumption. *PLOS ONE*, 5(12), e14445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>
- Oonincx, D. G. A. B., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLoS ONE*, 10(12), e0144601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>
- Ortiz, J. A., Torres Ruiz, A., Morales-Ramos, J., Thomas, M., Rojas, M. G., Tomberlin, J., Yi, L., Han, R., Giroud, L., & Jullien, R. L. (2016). *Insect Mass Production Technologies* (pp. 153-201). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00006-5>
- Parra, S., Carrejo, N., & Gomez, C. (2015). Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). *Waste and Biomass Valorization*, 6. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9418-8>
- Patton, R. L. (1978). Growth and Development Parameters for *Acheta domesticus* 1,2. *Annals of the Entomological Society of America*, 71(1), 40-42. <https://doi.org/10.1093/aesa/71.1.40>
- Pelletier, N., & Tyedmers, P. (2007). Feeding farmed salmon: Is organic better? *Aquaculture*, 272(1), 399-416. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.06.024>
- Pimentel, D., Berger, B., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E., & Nandagopal, S. (1997). *Water Resources, Agriculture and the Environment*.
- Punzo. (1975). *Effects of temperature, moisture and thermal acclimation on the biology of Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae) | Semantic Scholar*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Effects-of-temperature%2C-moisture-and-thermal-on-the-Punzo/18f107b5102101c84724d48f243a4660d79b968c>
- Roe, R. M., Clifford, C. W., & Woodring, J. P. (1980). The effect of temperature on feeding, growth, and metabolism during the last larval stadium of the female house cricket, *Acheta domesticus*. *Journal of Insect Physiology*, 26(9), 639-644. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(80\)90034-7](https://doi.org/10.1016/0022-1910(80)90034-7)
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802-823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>

U.S. Soybean Export Council. (2023). *Tetra Pak Sustainability Report | Tetra Pak Global*. https://www.tetrapak.com/sustainability/measuring-and-reporting/sustainability-reports?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=SI_Sustainability_SRFY23&utm_content=sustainability-report-group_sustainability-report&gad_source=1&gbraid=0AAAAACTiZx3gZuppyTxxkXBk1m4FZA022&gclid=CjwKCAjwps-zBhAiEiwALwsVYZ7WjO6zotb2jFFxDNgKk-qZJdkpwmV6ohv-NUhMWW1OjXWAwbv9bRoC1hkQAvD_BwE

van Broekhoven, S., Oonincx, D. G. A. B., van Huis, A., & van Loon, J. J. A. (2015). Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology*, 73, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>

van Zanten, H. H. E., Mollenhorst, H., Oonincx, D. G. A. B., Bikker, P., Meerburg, B. G., & de Boer, I. J. M. (2015). From environmental nuisance to environmental opportunity: Housefly larvae convert waste to livestock feed. *Journal of Cleaner Production*, 102, 362-369. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.106>