



Universidad
Nacional
de Córdoba



Facultad de
Ciencias Exactas
Físicas y Naturales

I M B I V



CONICET

U N C



Instituto de
Ciencia y Tecnología
de los Alimentos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, FACULTAD DE CIENCIAS

EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

TESINA

“Análisis de consecuencias ambientales y productivas del potencial empleo de *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) en sistemas de producción en Argentina”

Alumna: Luisina Schwab

Director: Agustín Luna

Codirectora: Adriana Salvo

Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA, FCEyN-UNC)

Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV, CONICET-UNC)

“Análisis de consecuencias ambientales y productivas del potencial empleo de *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) en sistemas de producción en Argentina”

Palabras clave: aves de corral, enmienda agrícola, Mosca Soldado Negra, residuos orgánicos, suplemento alimenticio.

Resumen

El potencial que presenta la larva de *H. illucens* (L.) para biodegradar y bioconvertir materia orgánica en proteína la posicionan de manera estratégica como una alternativa a la nutrición animal proponiendo un cambio radical a mediano plazo en el sistema agroalimentario. En el presente trabajo se propone un análisis experimental de la influencia del sustrato sobre la calidad nutricional de la larva, y por otro lado un análisis teórico de la potencial inclusión de dicha larva en sistemas de producción, más puntualmente, en alimentación animal. Esto se llevó a cabo a través de experimentos de cría con diferentes combinaciones de sustratos puros, mixtos y cambios secuenciales de sustrato, y a través de una búsqueda bibliográfica exhaustiva. En su conjunto, se confirmaron altos niveles de proteínas, aminoácidos, ácidos grasos y demás nutrientes que brindan particular interés para la alimentación animal, con diferentes grados de dependencia del sustrato de alimentación de la larva. Estos niveles son similares a otros suplementos que actualmente son utilizados en el país, como la harina de soja, maíz o carne, sumado a que la producción de proteína de larva es más eficiente que la producción de proteína de soja. Estos resultados nos indican que la larva de *H.illucens* (L.) podría incluirse en los actuales sistemas de cría intensiva de aves en Argentina teniendo consecuencias positivas a niveles económicos y ambientales, reduciendo innumerables impactos negativos que generan los modelos tradicionales de producción.

Abstract

H. illucens (L.) larvae (BSFL) has shown to have a high potential due to their important role for organic waste bioconversion and valorization, its chemical composition and its potential applications in animal production systems. The present work proposes an experimental analysis of the influence of the substrate on the nutritional quality of the larva, and on the other hand, a theoretical analysis of the potential inclusion of this larva in production systems, more specifically, in animal feed. BSFL were fed with different combinations of pure substrates, mixed substrates and sequential substrate changes, and through an exhaustive literature search. All together indicates that larvae possess high levels of protein, amino acids, fatty acids and other nutrients of interest for animal feeding, with different response to larval feeding substrate. These composition is similar to other dietary supplements currently used in animal production in Argentina, such as soybean meal, corn or meat meal, in addition to the fact that larva protein production is 207 times more efficient than soybean protein production. These results contribute to indicate that *H. illucens* (L.) larvae could be included in current animal production systems in Argentina, having positive consequences at both economic and environmental levels, reducing the many of the negative impacts generated by traditional intensive production models.

Introducción

Numerosos autores, como Altieri, Pengue y Jucker, señalan al actual modelo agroindustrial como responsable de innumerables problemas económicos, sociales y ambientales (Pengue, 2005; Altieri, 2009; Jucker et al., 2017). Por esto, la tendencia actual es dirigir los esfuerzos a fortalecer modelos alternativos de producción, sobre todo, apuntando a la generación de técnicas de manejo que permitan la disminución de los impactos ambientales (Pengue, 2005). Este es el caso de la optimización de cadenas productivas que buscan reutilizar, reciclar y/o reducir residuos provenientes de actividades industriales (Rojas y Orozco, 2008; Jucker et al., 2017).

La actividad industrial de producción de carne utiliza alimentos con alto contenido de proteínas, siendo la harina de soja y sus derivados proteicos uno de los más importantes (Sheppard et al., 1994; Tomberlin y Sheppard, 2001; Rubio y Molina, 2016). Sin

embargo, la modalidad de cultivo de esta especie vegetal en el país profundiza los costos ambientales, principalmente por la homogeneización del paisaje agrícola y sus múltiples consecuencias en la diversidad, siendo además una de las principales causas del avance de la frontera agrícola en nuestro país. Como consecuencia, las fuentes de proteína convencionales (y sus sistemas de producción) se están volviendo menos aceptados desde el punto de vista económico y social (Aizen et al., 2009). Por ello, es muy importante para nuestro país y para el mundo, la búsqueda y generación de ingredientes proteicos alternativos para raciones¹ de animales de cría, que sean económicamente viables, y que además representen un menor impacto ambiental. A su vez, el aprovechamiento de la biomasa resultante de los desechos orgánicos industriales es una herramienta para generar insumos utilizables, proponiendo además una reducción del requerimiento de recursos naturales (suelo, agua) y de la liberación de GEI (metano, óxidos de nitrógeno, y/o dióxido de carbono). Dentro de tal estrategia se encuentra la degradación de residuos orgánicos por medio de la actividad metabólica de insectos detritívoros y microorganismos, denominada biodegradación; o la conversión de materiales orgánicos en productos utilizables, aportando un valor agregado al producto final, proceso denominado biotransformación. Estos productos utilizables pueden ser: el propio insecto como ingrediente de raciones de animales o el sustrato resultante de su cría aprovechado como enmienda agrícola para fertilizar suelos productivos (Smetana et al., 2019; Rojas y Orozco, 2008; Newton et al., 2005). En particular, las larvas de la Mosca Soldado Negra (LMSN) (*Hermetia illucens* L.) (Diptera: Stratiomyidae), están siendo cada vez más estudiadas y empleadas para estos fines, ya que las larvas maduras contienen proteínas y lípidos de gran valor nutricional y digestibilidad² como potencial ingrediente en dietas animales (Rojas, Orozco, 2008; Manurung et al., 2016). Además, debido a la alta disponibilidad de residuos orgánicos de industrias tales como la cervecera, y los desperdicios domésticos de frutas y verduras que pueden servir como sustrato de cría³, este insecto ha comenzado a ser el foco de investigaciones en los últimos años (Diener et al., 2011).

¹ Raciones se refiere al alimento que se utiliza para animales de cría.

² La digestibilidad de las proteínas se define como la relación entre el nitrógeno consumido y el absorbido. Una digestibilidad igual a 100 se considera cuando la totalidad del nitrógeno absorbido por el organismo equipara al consumido.

³ Sustrato de cría: es un término empleado para referirse al alimento de las larvas, ya que además de nutrientes, aporta soporte físico para su desarrollo.

La Mosca Soldado Negra (MSN) se encuentra en la naturaleza en una amplia variedad de ambientes, principalmente distribuida por los trópicos y las regiones templadas del mundo. Esta especie es nativa del continente Americano, pero a través de la dispersión mediada por el humano, se encuentra actualmente distribuida casi globalmente (Cammack y Tomberlin, 2017). Sus larvas son polífagas, es decir, se desarrollan en una gran gama de materiales orgánicos en descomposición, incluyendo frutas, vegetales, desperdicios humanos y animales (excremento y cadáveres) (Rojas y Orozco, 2008). La calidad de los sustratos y las condiciones abióticas de temperatura, humedad, y pH afectan considerablemente el desarrollo de esta especie, la duración de su ciclo larval y la bioconversión de materia orgánica que realiza (Tomberlin et al., 2009; Nguyen et al., 2013; Oonincx et al., 2015; Meneguz et al., 2018), ya que la mayor parte de los nutrientes son almacenados durante la fase larval (Barragan-Fonseca et al., 2018). La LMSN pasa por 5 estadios larvales más un estadio de prepupa⁴. Se considera que las larvas entran en fase de prepupa cuando viran de un color crema-blancuzco a un color oscuro pardo-negro sumado a la esclerotización de la cutícula. Además en este momento comienzan a migrar fuera del sustrato, buscando un lugar seco y seguro para pupar (Sheppard et al., 1994; Hall y Gerhardt, 2002).

Cuando la LMSN se encuentra en condiciones óptimas para desarrollarse, las cuales son: ciclos de fotoperiodo de 12 horas con luz y 12 en oscuridad, humedad relativa del 70% y temperatura entre 25 y 30 C°; demoran dos semanas en alcanzar el estadio de prepupa (Furman et al., 1959; Sheppard y Newton, 2000). Si hubiera limitaciones de alimento, o condiciones ambientales diferentes a las apropiadas, este periodo podría extenderse hasta cuatro meses (Furman et al., 1959; Rojas y Orozco, 2008). Estas condiciones, a su vez, generan una variación en cuanto al contenido de proteínas en la biomasa larval, que varía de 37% a 63% de materia seca (MS), así como también el contenido de lípidos que presenta aún mayor variabilidad, desde 7 a 39% MS, y el de cenizas que va de 9 a 28% (Zheng et al., 2012; Barragán-Fonseca et al., 2018). A su vez, cuanto mayor sea la concentración y variedad de nutrientes, las larvas presentarán mayor longitud y peso, tendrán tasas de supervivencia mayores y tardarán menos en completar su desarrollo y llegar al estadio de prepupa (Gobbi et al., 2013;

⁴ Se define como etapa larval al periodo de tiempo desde que la larva emerge del huevo hasta que alcanza el estadio de prepupa, o último estadio larval.

Barragan-Fonseca et al., 2018), por lo cual resulta de gran importancia analizar los sustratos o combinación de sustratos que permiten un crecimiento óptimo.

Las LMSN poseen la capacidad de reducir el volumen de materia orgánica en un 42-56%, consumiéndola y acumulándola como proteína, en un 37% o más de su cuerpo (Newton et al.,2005). Además, la actividad de las LMSN, en conjunto con la bacteriana, reduce (biodegrada) el nitrógeno en un 43% y el fósforo en un 67% (Gobbi, 2012), los transforma y pone a disposición en su exoesqueleto. Así, muchos de los residuos sólidos orgánicos procesados por las larvas pueden adquirir un valor agregado y utilizarse en enmiendas agrícolas como biofertilizantes (Newton et al., 2005).

Las diversas fuentes de alimento de las LMSN en estado silvestre suelen contener mayor cantidad de carbohidratos en relación al contenido de proteínas (1:1,5 - 1:2), y presentan amplias variaciones en la cantidad de proteínas crudas y carbohidratos digeribles. Sin embargo, se desconoce cómo las LMSN regulan el equilibrio de los nutrientes ingeridos y absorbidos, y cómo esto afecta su rendimiento y la composición química del cuerpo larval (Barragán-Fonseca et al., 2018).

En general, las LMSN alimentadas con residuos de granos tienen como resultado un mayor contenido proteico (Barragán-Fonseca et al., 2018). En particular, las dietas basadas en bagazo de cerveza (residuos de granos, generalmente cebada) generan un mayor aporte de proteínas (Ooninx et al., 2015). Además, las larvas alimentadas con sustratos de mezcla de fruta y verdura o sustrato de bagazo de cerveza por separado presentan ciclos más cortos, es decir, llegan más rápido a la etapa de prepupa, presentan un mayor contenido de proteína larval y sufren menor mortalidad (Meneguz et al., 2018). Además, se sabe que es más eficiente el uso de mezclas de almidones y frutas para mejorar la composición nutricional de la larva en contraste a la utilización de otros residuos como los de origen animal (Rojas y Orozco, 2008).

Aun así, hasta el momento hay poca evidencia acerca de los efectos que tiene el cambio de dieta durante el ciclo larval y la utilización de determinadas combinaciones de residuos orgánicos, en la composición química de las prepupas y del sustrato remanente de su cría. Particularmente en Argentina, no se ha realizado una evaluación del impacto a nivel ambiental y productivo que podría tener la implementación de la cría de la MSN en sistemas agrícolas a pequeña o gran escala. Por ello, en el presente trabajo se realiza una evaluación teórica de las consecuencias de utilizar la LMSN como suplemento

alimenticio para aves de corral. A su vez, se analiza experimentalmente el efecto de la combinación de diferentes sustratos de cría en la composición química centesimal de las larvas.

Objetivo general

Reunir antecedentes y evidencia experimental que permitan un análisis amplio de los beneficios de utilizar las larvas de *H. illucens* (L.) en sistemas productivos de Argentina.

Objetivos específicos

1. Describir el estado del arte del conocimiento actual sobre la composición de LMSN alimentadas con residuos orgánicos (fundamentalmente vegetales).
2. Estudiar la composición química y la relación entre el contenido de proteína del sustrato de alimentación inicial, las prepupas y el sustrato remanente de cría, en larvas criadas y alimentadas con diferentes sustratos puros y mixtos, y con cambios secuenciales de sustrato durante el ciclo larval.
3. Evaluar las potenciales consecuencias teóricas a nivel productivo/ambiental que tendría el empleo de la harina de larvas como suplemento alimenticio para pollos parrilleros, para el reemplazo de otros ingredientes proteicos utilizados actualmente en el país, como la harina de soja.

Hipótesis y predicciones

H1: El sustrato de alimentación incide directamente sobre la composición final de las larvas de tal manera que seleccionando los sustratos de alimentación según su composición se puede regular la composición final de la prepupa.

P1: Un sustrato rico en proteínas dará como resultado larvas con mayor cantidad de proteína.

H2: La LMSN criada en sustratos provenientes de residuos orgánicos vegetales que sean mixtos presenta mayor cantidad de proteína bruta que aquellas criadas en sustratos puros.

P2: En aquellos casos donde se utilizan mezclas de sustratos vegetales o cambios secuenciales de sustrato, la composición química del cuerpo larval será más rica en términos de proteína bruta que en aquellos casos donde se utilizan sustratos puros.

H3: La harina de LMSN puede sustituir completamente a la harina de soja en su uso como suplemento alimenticio para animales de corral (pollos parrilleros).

P3: La harina de LMSN posee similares contenidos de proteínas que la harina de soja, mientras que su producción es más rentable en términos económicos.

Materiales y métodos

Para cumplir con los objetivos de la presente Tesis y de otras dos ya defendidas (Picco, 2020, Rinaudo, 2021) se realizó un experimento a finales del 2019 en el que se criaron LMSN en diferentes sustratos. Se pusieron a prueba dos sustratos, bagazo de cerveza por un lado y una mezcla de residuos vegetales por otro, que incluía cáscara de banana, de papa y zanahoria, y yerba mate usada, en iguales cantidades (25% de cada tipo de residuo). El bagazo se obtuvo de una fábrica de cerveza artesanal de la ciudad de Córdoba, mientras que los residuos vegetales provinieron de hogares particulares de los colaboradores. Todo el material utilizado como sustrato fue refrigerado desde su obtención hasta su uso, en un lapso de tiempo menor a 7 días. Al momento de utilizarlos, los residuos se procesaron con licuadora-mixer de mano a fin de homogeneizar el tamaño del material entre sustratos diferentes. Los tratamientos correspondieron a sustratos puros, mezclas y sustratos con un cambio o renovación, es decir, sustitución del sustrato por uno fresco del mismo tipo. Contaron con 5 réplicas cada uno y fueron los siguientes:

Tratamiento B: Sustrato 100 % bagazo con renovación de sustrato.

Tratamiento B/v: Sustrato 100% bagazo con cambio a diferente sustrato (a 100% residuos vegetales).

Tratamiento V: Sustrato 100% residuos vegetales con renovación de sustrato.

Tratamiento V/b: Sustrato 100% residuos vegetales con cambio de sustrato, a 100 % bagazo.

Tratamiento M1: Sustrato mezcla 1 de 70% bagazo y 30% residuos vegetales con renovación de sustrato.

Tratamiento M2: Sustrato mezcla 2 de 30% bagazo y 70% residuos vegetales con renovación de sustrato.

Para realizar la experiencia se utilizaron huevos de *H. illucens* provistos por PROCENS SAS (Colonia Caroya, Córdoba, Argentina). En una primera etapa de alimentación, llevada a cabo en un contenedor de cría de LMSN en el establecimiento “Chacra de Luna”, se colocaron 0,1 g de huevos a punto de emerger y 900 g de los cuatro sustratos iniciales (bagazo 100%, residuos vegetales 100%, mezcla 1 y mezcla 2) en contenedores plásticos (10,5 x 31 x 9,5 cm). Los huevos eclosionaron y las larvas permanecieron allí por 7 días. Los contenedores tenían tapas con aberturas cubiertas con tela microporosa para permitir el ingreso de oxígeno y a la vez evitar la pérdida de humedad. La densidad de huevos inicial respondió a la necesidad de contar con un número aproximado de 720 larvas por contenedor, densidad apropiada para la cría (Barragán-Fonseca et al., 2018). Luego se llevó adelante una segunda etapa de alimentación donde fueron renovados los sustratos y se dio inicio al experimento. Se colocaron 144 larvas en 180 g de sustrato por cada réplica para mantener la densidad constante entre tratamientos. Dichas réplicas consistieron en contenedores plásticos más pequeños (21,7 x 16,7 x 4,2 cm, denominados en adelante “bandejas”) cuyas tapas fueron perforadas con 140 pequeños orificios, realizados con la punta de un alfiler. Esta segunda etapa se llevó a cabo en una cámara de cría en condiciones constantes a 25°C (\pm 2°C), 60% de humedad y un fotoperiodo de 12L:12D, (12 horas de luz y 12 horas de oscuridad), en las instalaciones del laboratorio del Centro de Investigaciones Entomológicas de Córdoba, Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal-IMBIV (CONICET-UNC), ubicado en el segundo piso de la Avenida Vélez Sarsfield N° 1611 de la Universidad Nacional de Córdoba.

Muestras de sustrato:

Se tomaron muestras de cada uno de los sustratos frescos iniciales y también de los sustratos remanentes al finalizar el experimento (frass), en el momento en que las larvas de las bandejas se encontraban en estadio de prepupas (ver muestreo de prepupas). Cada muestra de sustrato consistió en una mezcla de aproximadamente 30 g (una cuchara sopera) de cada una de las 5 réplicas que fueron colocadas en un recipiente esterilizado (capacidad de 120 ml). Luego, el contenido de cada recipiente fue dividido en 3 nuevas réplicas (unidades experimentales para los análisis de caracterización química).

Muestras de prepupas:

Las muestras de prepupas se tomaron con el criterio de que los individuos seleccionados debían moverse normalmente, y presentar coloración oscura homogénea y tegumento rígido. Se tomaron al azar 10 prepupas que cumplieran estos requisitos de cada réplica por tratamiento (total 50 prepupas/tratamiento), y a partir de dicho pool se seleccionaron aleatoriamente prepupas que fueron colocadas en frascos separados a fin de generar 3 réplicas de 16 prepupas cada una por tratamiento las cuales fueron analizadas.

Análisis de muestras (sustratos y prepupas):

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la siguiente manera, en todos los casos siguiendo metodologías de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC): se deshidrataron para obtener el peso húmedo y seco, y para obtener el nivel de humedad de la muestra. Luego se llevó a cabo el deslipidizado mediante soxhlet, para obtener niveles de materia grasa. Luego se realizó una determinación de proteínas totales (Romero, 2006), de cenizas (Alaiz et al., 1992; Davidson y O'Connor, 2008; Romero, 2006), y de fibras brutas. Estos análisis fueron realizados en el Centro de Química Aplicada (CEQUIMAP, Facultad de Ciencias Químicas, UNC). En todos los productos obtenidos se analizó el contenido de humedad (AOAC 931.04), proteína (AOAC 991.20), grasa (AOAC 920.75 mod.) y fibra (AOAC 962.09).

Debido a que al momento de la realización de los análisis químicos (meses después de la realización de las experiencias) se constató que la cantidad de muestra, tanto de sustrato como de prepupas, resultó insuficiente para realizar un análisis replicado, el material fue agrupado y se analizó una única muestra por tratamiento. Además, algunos análisis no pudieron llevarse a cabo, como la determinación de cenizas y fibras en el caso de las muestras de prepupas, a causa del mismo inconveniente.

Análisis de datos:

Los datos de las muestras de prepupas y sustratos fueron analizados a través del programa Infostat, con un análisis de regresión lineal. Se realizaron regresiones entre el contenido de proteínas de las prepupas alcanzado en cada dieta en función del contenido de proteínas hallado en los sustratos iniciales, sustratos finales y del valor promedio de ambos. Se utilizó el Coeficiente de Determinación R², y su significancia fue evaluada a través del p-valor con un nivel de significancia de 0,05.

Metodología de la revisión:

En cuanto a los objetivos relacionados a revisiones (objetivo 1 y 3), se llevaron a cabo búsquedas exhaustivas bibliográficas en Google Académico a partir del uso de palabras claves como “composición química de la larva”, “residuos orgánicos vegetales”, “harina de larva”, “harina de soja”, “enmienda agrícola”; siempre acompañadas con la sigla “MSN” (mosca soldado negra); en español y en inglés. Se utilizó en el caso del objetivo 1 un criterio de selección de trabajos científicos que estuvieron dentro del rango de publicación de los años 2005 hasta el 2022 para incluir información actualizada. Además, no se incluyó “literatura gris”, es decir, informes no publicados, o presentaciones a congresos.

Resultados y Discusión

Composición química de LMSN criadas en materia orgánica vegetal (Objetivo 1).

Existe creciente evidencia de que el uso de harinas de insectos en la formulación de suplementos alimenticios de animales de cría podría ser una forma novedosa de mejorar la seguridad alimentaria, en contraposición a los suplementos utilizados de manera extendida, como las harinas de soja y maíz, de los cuales cada vez se conocen más características desventajosas (El-Hack et al., 2020). En el campo de la nutrición animal, diversos estudios han demostrado que los insectos comestibles tienen un alto contenido en proteínas, aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas (El-Hack et al., 2020).

En este contexto, como ya se mencionó previamente, fue que la LMSN ganó protagonismo, y numerosos autores de diferentes lugares del mundo, en los últimos 15 años, han puesto a prueba diferentes sustratos de alimentación para su cría. Entre los

más utilizados podemos nombrar los residuos orgánicos de origen animal como estiércol o purines de animales (Newton et al., 2005; St-Hilaire et al., 2007), residuos de origen vegetal como restos de frutas, verduras, granos fermentados y diversas mezclas de los mismos (Diener et al., 2011; Nguyen et al., 2015). Al considerar a la LMSN como potencial alimento para animales, los sustratos de alimentación formulados a partir de residuos orgánicos vegetales resultan de interés por su menor riesgo biológico en cuanto a cargas microbianas y patogenicidad para ser utilizados en criaderos a pequeña o gran escala, y además, por la facilidad y regularidad en su obtención periódica, porque pueden provenir de residuos domiciliarios, de restaurantes y/o industrias (Siddiqui et al., 2022).

Por otro lado, muchos autores concluyen que la composición del sustrato de alimentación de las larvas determina en gran medida la composición del cuerpo de la misma (Gobbi et al., 2013; Makkar et al., 2014; Nguyen et al., 2015), por lo que la formulación del sustrato en cuanto a sus contenidos nutricionales es de suma importancia si se apunta a generar como producto una larva que sea aprovechable como suplemento alimenticio para animales de cría. Es decir, podría optimizarse la producción de una LMSN adecuada nutricionalmente⁵ a través del control del contenido del sustrato de alimentación. Aún así, esto no es directamente proporcional en el caso de todos los componentes químicos que posee una larva madura y su sustrato de cría, por lo que a continuación se realizará una recopilación de evidencia para seguir analizando esta hipótesis. Puntualmente, se reportan numerosos trabajos donde se analiza el contenido y la composición química de las LMSN luego de criarlas en sustratos de alimentación de origen vegetal.

⁵ con “Adecuada nutricionalmente” nos referimos a que su composición es nutricionalmente igual o superior a la de harina de soja utilizada como suplemento dietario de aves de corral

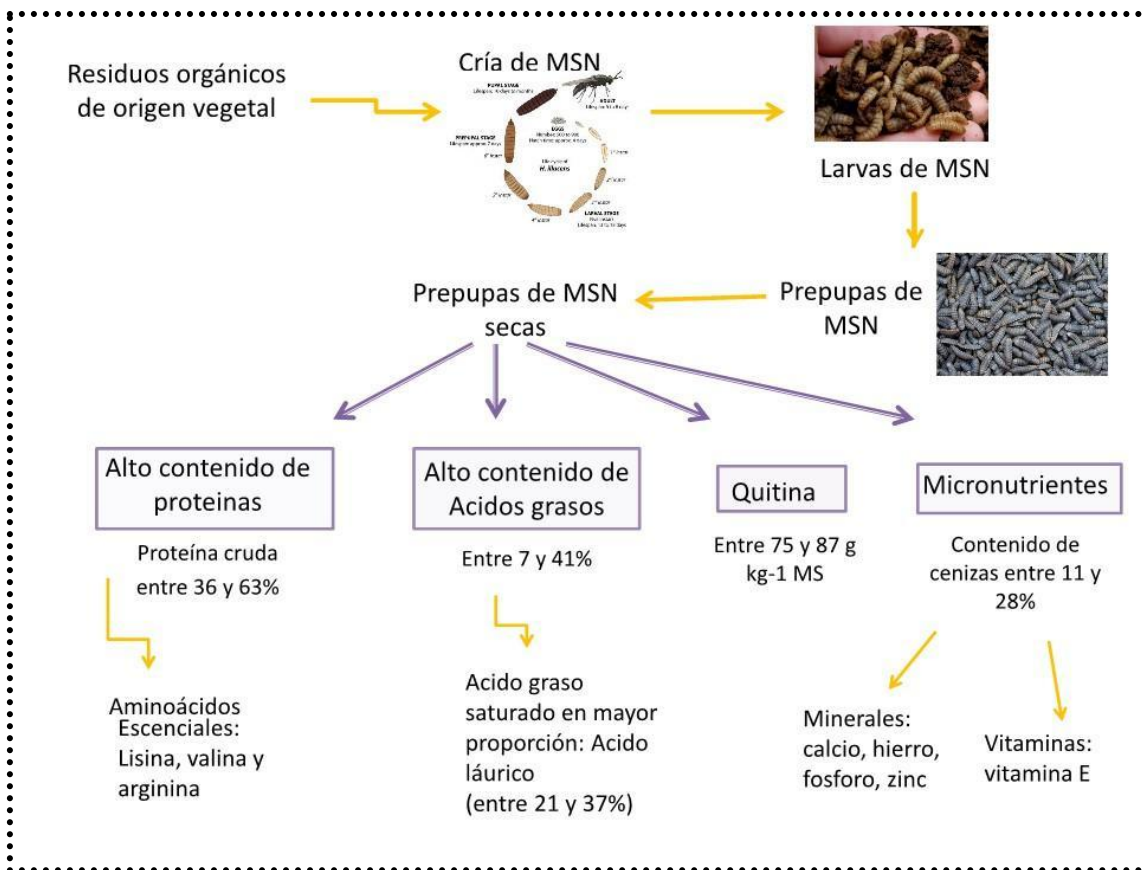


Figura 1: Adaptado de El-Hack et al. (2020).

Composición de proteína cruda:

La proteína es uno de los componentes más caros en la nutrición de aves de corral, no sólo en términos económicos, sino también en relación al impacto ambiental de su producción, por lo que resulta altamente relevante indagar en nuevas fuentes proteicas (El-Hack et al., 2020). En numerosos estudios se encontraron valores de proteína cruda en la LMSN que varían en general entre 36 y 63 % en MS (Materia Seca) (Makkar et al., 2014, Mutafela, 2015; Ooninx et al., 2015; Wang y Shelomi, 2017; Barragan-Fonseca, 2018; Gligorescu et al., 2018; Kawasaki et al., 2019). Las evidencias indican que las dietas para larvas basadas en granos tienen como resultado un mayor contenido de proteínas (Ooninx et al., 2015). Lo mismo se observó al utilizar una mezcla de residuos de fruta y verdura, que produjo un mayor contenido de proteína en el cuerpo de la larva en comparación con aquellas alimentadas con ambos tipos de residuos por separado (Jucker et al., 2017; Meneguz et al., 2018). Además, aquellas larvas que fueron alimentadas con bagazo de cerveza (grano) tuvieron niveles de

proteína similares a los encontrados en larvas alimentadas con mezcla de fruta y verdura (Meneguz et al., 2018), presentando niveles altos de proteína cruda, cercanos al extremo superior de los porcentajes antes mencionados.

También resulta interesante mencionar que se encontraron niveles diferentes de proteína cruda según el grado de desarrollo de la larva (El-Hack et al., 2020). Los resultados sugieren que el contenido de proteína aumenta justo después de la eclosión, luego disminuye gradualmente entre los 4-12 días de desarrollo, con una concentración mínima de 38%. En las siguientes etapas (luego de 14 días) se produce un aumento constante de la concentración de proteína cruda llegando a un máximo de 46,2% en la prepupa (El-Hack et al., 2020), por lo que ese estadio del ciclo sería el más indicado para realizar harina con alto contenido proteico.

Composición de aminoácidos:

En relación al contenido de aminoácidos esenciales, los estudios realizados hasta el momento indican que los más frecuentes en la biomasa de las LMSN son lisina, valina y arginina (Spranghers et al., 2017; El-Hack et al., 2020). A pesar de las diferencias significativas en la composición de aminoácidos de los sustratos, las diferencias en el contenido de aminoácidos de las prepupas criadas en diferentes sustratos son pequeñas (Spranghers et al., 2017), lo cual resulta interesante ya que sugiere que el sustrato de cría no tuvo una influencia sustancial en la composición de aminoácidos de las prepupas (Spranghers et al., 2017). Es de destacar que las prepupas contienen aminoácidos esenciales de gran importancia como lisina, isoleucina, treonina, valina, metionina y triptófano (Spranghers et al., 2017), que a su vez son los principales aminoácidos esenciales limitantes en las dietas de cerdos y aves de corral basadas en cereales. Entre los aminoácidos esenciales más prevalentes en la fase prepupal se encontraron metionina, lisina, valina y arginina, con niveles entre 2 y 3 g % de MS (El-Hack et al., 2020). En cuanto al estado de desarrollo de la larva, la prepupa (último estadio larval) es el que posee el mayor contenido de aminoácidos (g/kg) en base seca (El-Hack et al., 2020).

Composición de ácidos grasos:

Los ácidos grasos de los insectos son un interesante ingrediente potencial de los suplementos alimenticios para las aves de corral, sin ningún efecto perjudicial sobre el

rendimiento del crecimiento, la digestibilidad aparente, los rasgos de la mucosa intestinal y la salud de los animales que lo consumen (El-Hack et al., 2020). Como se mencionó anteriormente con la composición de proteínas en la LMSN, la composición de ácidos grasos también puede verse alterada durante los diferentes estadios de la larva. Se observó en estudios mencionados por El-Hack (2020) que el contenido de grasa bruta era del 4,8% después de la emergencia de las larvas, seguido de un aumento a lo largo del desarrollo larval hasta alcanzar su nivel máximo del 28,4% a los 14 días (El-Hack et al., 2020). Además, en las LMSN se encuentran porcentajes muy variables y dependientes del tipo de dieta que van desde un 7% a un 41% (Mutafela, 2015; Ooninx et al., 2015; Nyakeri et al., 2017; Wang y Shelomi, 2017; Barragan-Fonseca, 2018; Gligorescu et al., 2018; Kawasaki et al., 2019). En algunos estudios se encontró que las larvas contienen principalmente ácidos grasos saturados (Spranghers et al., 2017; Jucker et al., 2017), los cuales, respecto a otros insectos, en la LMSN se observan en una gran proporción relativa (Wang y Shelomi, 2017). Por otro lado, las grasas de la LMSN son deficientes en ácidos grasos esenciales para las aves, por lo tanto, se debe prestar gran atención al contenido de grasa y a su composición de ácidos grasos en el caso de la inclusión regular del aceite de larvas y prepupas como ingrediente de las dietas avícolas (El-Hack et al., 2020). Puntualmente, el ácido graso saturado que se encuentra en mayor proporción en las LMSN es el láurico (C12:0), con proporciones que van de 21% a 37% (Ooninx et al., 2015; Spranghers et al., 2017; Meneguz et al., 2018), con un nivel de concentración máximo en la etapa de prepupa (El-Hack et al., 2020). Incluso cuando el sustrato contiene este ácido graso sólo en cantidades ínfimas, resulta ser el de mayor proporción en las larvas (Spranghers et al., 2017), lo cual sugiere que el ácido láurico en la LMSN se sintetiza a partir de otros nutrientes presentes en el sustrato, como los carbohidratos (almidón y azúcares) (Spranghers et al., 2017).

Con respecto a la composición de ambos nutrientes, proteínas y ácidos grasos, también resulta interesante el trabajo realizado por Gligorescu et al. (2018) quienes observaron que el contenido de proteínas de las larvas sólo fue significativamente mayor cuando las larvas se criaron con dietas ricas en proteínas, mientras que el contenido de lípidos de las larvas fue mayor principalmente cuando las larvas se habían criado con una dieta rica en carbohidratos. Estos resultados ponen de manifiesto una flexibilidad relativamente limitada en relación a la respuesta de la composición lipídica del cuerpo larval al sustrato. Más estudios deberían realizarse a fin de aclarar qué tipos de grasa

bioacumulan las larvas, y si las características de la biosíntesis a partir de carbohidratos es superior, inferior o similar a la biosíntesis de glicéridos a partir de las grasas del sustrato (Gligorescu et al., 2018).

Composición de quitina:

Otro componente de las larvas que en muy pocos estudios se ha tenido en cuenta es la quitina, componente principal del exoesqueleto de artrópodos. La quitina y sus derivados tienen diversas aplicaciones en la alimentación, cosmética, farmacia, industria textil, tratamiento de aguas residuales y agricultura (El-Hack et al., 2020). El contenido de quitina de las prepupas en el estudio de Spranghers et al. (2017) oscila entre 75 g kg⁻¹ MS y 87 g kg⁻¹ MS. Estudios han informado sobre sus efectos biológicos, como la actividad antibacteriana, antifúngica y antiviral (El-Hack et al., 2020), los cuales resultan ser interesantes como potenciales aplicaciones de la quitina.

Contenido de cenizas (minerales):

El contenido de cenizas en las LMSN para algunos estudios fue relativamente alto, pero muy variable, con valores entre 11-28% de MS (Makkar et al., 2014). Las larvas son ricas en Ca (5-8% MS) y P (0,6-1,5% MS) (Makkar et al., 2014; Spranghers et al., 2016), pero, en particular para el calcio, diferentes estudios sugieren que el contenido en la larva no siempre está vinculado con el contenido en el sustrato. Por ejemplo, se observó que el contenido de calcio de las prepupas alimentadas con suplementos para pollos era igual al de las prepupas criadas con desechos vegetales (29 g kg⁻¹ MS), mientras que los niveles de calcio de los respectivos sustratos eran muy diferentes (29 frente a 7 g kg⁻¹ MS, respectivamente) (Spranghers et al., 2017). En cuanto al fósforo, se ha informado una correlación con el contenido de proteína bruta, donde a mayor proteína, mayor contenido de P en LMSN producidas con estiércol (Oonincx, 2015).

Como se mencionó para otros componentes, los minerales también se ven representados en diferentes proporciones según el estadio de desarrollo larval. Algunos estudios informaron que la mayoría de los nutrientes, como P y Ca, se encontraban en mayores proporciones en las últimas etapas del desarrollo larvario. Por ejemplo, algunos resultados mostraron que en la fase prepupal temprana, el contenido de P era casi el doble que el de larvas maduras en el día 14, mientras que el contenido de algunos otros

minerales, como sodio, hierro y zinc, eran mayor en la fase larval madura, alrededor del día 14 del ciclo (El-Hack et al., 2020).

Contenido de metales pesados:

En estudios como los de Diener et al. (2011) y Shumo (2019), se analizó el contenido y acumulación de metales pesados presentes en el sustrato de alimentación y se detectaron bajas concentraciones de cadmio y plomo (Shumo et al., 2019). La presencia de estos elementos en sustratos de alimentación de larvas es importante porque no se recomienda la utilización de sustratos que sufran este tipo de contaminación, y sería conveniente analizar cómo el insecto procesa dichos componentes para determinar si estos metales pesados pueden bioacumularse en la cadena de alimentación (larva – pollos/peces - personas). Muchos insectos tienen mecanismos naturales de desintoxicación pero requieren de un gasto energético adicional que se puede ver reflejado en alteraciones en algunos rasgos de vida como la disminución de la masa corporal, supervivencia del adulto, reproducción, resistencia a otros factores de estrés o disminución de la capacidad de recuperación en general (Diener et al., 2011).

Evidentemente, la composición química de la LMSN puede presentar una gran variabilidad. Se ha demostrado que varía en gran medida con el estadio larval (El-Hack et al., 2020), siendo el estadio de prepupa el que presenta las mayores concentraciones de proteínas, aminoácidos y ácidos grasos, lo cual resulta importante para saber cuándo es el momento óptimo de aprovechamiento del cuerpo de la larva y sus nutrientes de interés. Por otro lado, la composición es dependiente del sustrato de alimentación, por lo cual los perfiles de proteínas y ácidos grasos de las larvas podrían mejorarse o adaptarse al uso deseado con éxito hasta cierto punto mediante el ajuste de las dietas (Gligorescu et al., 2018). Sólo en algunos casos se evidenció que el contenido del sustrato no se correlaciona con el de la prepupa, como en algunos minerales como calcio, hierro, potasio y magnesio (Spranghers et al., 2017), que no fueron afectados por el sustrato de cría. Independientemente de la variación en los niveles que presentan cada uno de los componentes, la evidencia sugiere consistentemente que la LMSN es una buena fuente de proteínas y lípidos para ser incluida en la dieta de aves de corral (Wang y Shelomi, 2017).

Datos experimentales de composición química centesimal de sustratos y prepupas (Objetivo 2):

A través de la realización de una cría experimental de larvas, y los posteriores análisis químicos de las muestras, obtuvimos los siguientes resultados de composición química de prepupas y sustratos de alimentación inicial y final (Tabla 1)

Muestra	Tratamiento	Cenizas (gr%)	Fibra Bruta (gr%)	Humedad (gr%)	Materia grasa (gr%)	Proteína (gr%)
Sustrato inicial	B	2.7	4.97	62.2	1.72	14.6
	V	4.39	5.51	80.4	1.48	11.5
	B/v	5.26	16.21	81	1.05	12
	V/b	2.36	6.32	59.8	1.32	16.2
	M1	2.77	6.63	66.8	1.47	14.7
	M2	4.16	4.85	76.9	1.6	13.2
Sustrato final	B	5.99	21.89	76.3	0.51	19.6
	V	11.11	20	88.3	1.88	16.7
	B/v	8.84	20.12	83.6	1.71	11.4
	V/b	6.94	32.08	74.5	0.35	21.2
	M1	7.02	26.07	83.2	1.25	22.1
	M2	8	30.5	86	1.36	13.9
Prepupas	B	SD	SD	62.6	9.71	45.8
	V	SD	SD	66.8	3.01	35.6
	B/v	SD	SD	74.8	SD	50.4
	V/b	SD	SD	65.4	6.24	44.3
	M1	SD	SD	66.8	SD	47.7
	M2	SD	SD	66.6	4.07	42.5

Tabla 1: Composición química del sustrato inicial (rosa), sustrato final (violeta) y prepupas (verde). Los valores de cenizas, fibra bruta, humedad, materia grasa y proteína están expresados en gramos %. Descripción de las siglas en la columna “tratamientos”: sustrato 100 % bagazo con cambio a igual sustrato (B), Sustrato 100% bagazo con cambio a diferente sustrato (a 100% residuos vegetales) (B/v), sustrato 100% residuos vegetales con cambio a igual sustrato (V), sustrato 100% residuos vegetales con cambio a diferente sustrato (a 100 % bagazo) (V/b), sustrato mezcla 1: 70% bagazo y 30% residuos vegetales con cambio a igual sustrato (M1), sustrato mezcla 2: 30% bagazo y 70% residuos vegetales con cambio a igual sustrato (M2). SD = SIN DATO.

Nivel de proteína (gr%)

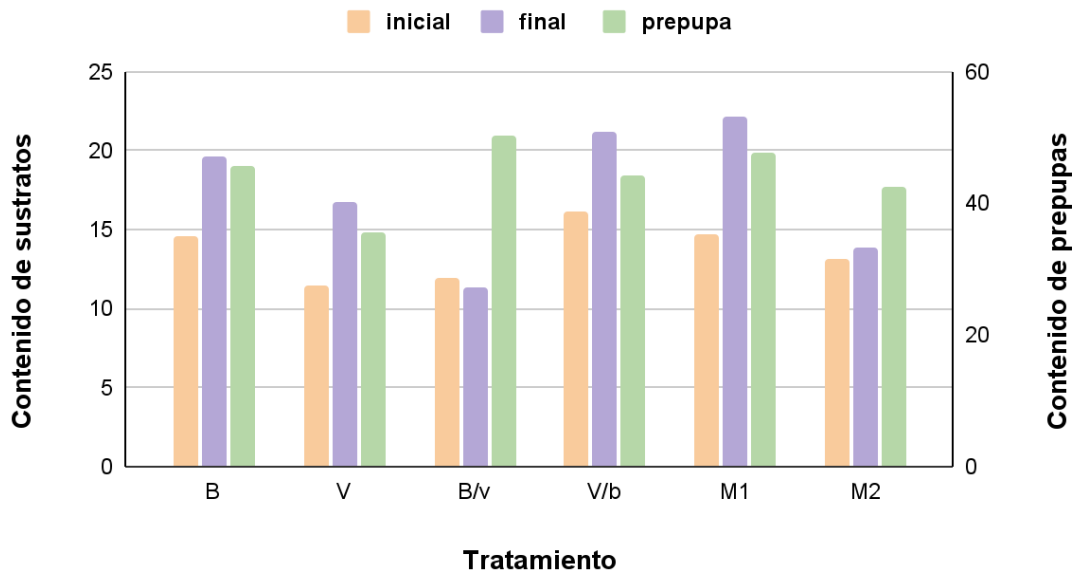


Gráfico 1: Contenido total de proteínas (g, %) del sustrato inicial, final y de las prepupas.

Se realizaron análisis estadísticos de regresiones y no se encontraron relaciones significativas entre los valores de proteínas hallados en los sustratos iniciales (Sust. I.), finales (Sust. F.) y el promedio de ambos valores (Sust. IF.) con respecto al contenido de proteínas de las prepupas (PP) desarrolladas en cada sustrato: PP en función de Sust. I, $R^2=0,10$, $P=0,54$; PP en función de Sust. F, $R^2=0$, $P=0,93$; PP en función de Sust. IF, $R^2=0$, $P=0,90$).

Con respecto a los resultados obtenidos de niveles de proteínas a partir de los experimentos de cría realizados (Tabla 1), podemos resaltar que el sustrato de bagazo es el que presentó un porcentaje mayor de proteínas totales, lo cual también se observó reflejado en los niveles de proteínas del cuerpo de la prepupa alimentada en este sustrato. Este resultado es coincidente con lo mencionado en el apartado anterior, donde autores afirman que las dietas de granos resultan tener un mayor contenido de proteínas (Oonincx et al., 2015), y esto repercute directamente en la composición proteica del cuerpo de la larva. La misma relación se encontró en los sustratos de mezcla de residuos, ya que la Mezcla 1 (70% bagazo y 30% residuos vegetales) tuvo mayores niveles de proteína que la Mezcla 2 (70% residuos vegetales y 30% bagazo), diferencias que también se observaron en la composición de proteínas de las prepupas correspondientes. Esto nos podría dar un indicio de que, a pesar de no haber una

relación significativa, el sustrato de alimentación con bagazo puro o cuando el bagazo se encuentra en mayor proporción que otros componentes, daría como resultado una larva más rica en este nutriente de interés. A su vez, nuestros resultados experimentales se contraponen a las conclusiones de otros autores que afirman que larvas alimentadas con bagazo de cerveza (grano) tuvieron niveles de proteína similares a los encontrados en larvas alimentadas con mezcla de fruta y verdura (Meneguz et al., 2018), ya que nuestros resultados mostraron que el sustrato de alimentación de residuos vegetales (mezcla de frutas y verduras) da como resultado larvas con menor contenido proteico que aquellas alimentadas con bagazo. En cuanto a la cría con cambios secuenciales de sustratos no se obtuvo una relación clara en los niveles de proteína del sustrato con respecto a los de las prepupas, por lo que sería interesante seguir analizando este tipo de estrategia de suministro de alimento para la larva, para dilucidar su efecto en la composición de la prepupa.

En contraste a nuestra hipótesis que plantea un mayor nivel de proteína para sustratos de cría con mayor diversidad de componentes, ya sean sustratos mixtos o con la inclusión de la estrategia de cambios secuenciales de sustratos, se encontró que no hay diferencias sustanciales entre este tipo de sustratos y los sustratos puros. Pero, como se mencionó anteriormente, se pudo dilucidar diferencias entre los tipos de sustrato (bagazo, residuos vegetales), por lo cual en posteriores trabajos sería interesante seguir investigando y experimentando con sustratos ricos en proteína como el bagazo.

Análisis de consecuencias del empleo de la harina de larva como suplemento alimenticio de pollos parrilleros (Objetivo 3).

La carne de pollo es el producto que presentó el mayor aumento de demanda en el mercado mundial de carnes en la última década. Esta representa el 45% de toda la carne comercializada mundialmente, con una producción nacional estimada 2.5 mil toneladas (SENASA, 2022), contando en nuestro país con un consumo per cápita anual de 39,5 kg/persona/año (SENASA, 2022).

Actualmente hay 44.200.000 aves en postura que producen casi 13 mil millones de huevos anuales y casi 9 millones de aves en recría. La mayor parte (97%) va a consumo interno y el restante (3%) se exporta a más de 56 países habilitados. La producción involucra a más de 100 pequeñas y medianas empresas, y a una gran cantidad de

pequeños y medianos avicultores que trabajan, por lo general, con mano de obra propia o familiar (estos representan en conjunto el 5% de la producción total del país) (SENASA, 2022).

Las dietas de las aves de todo el país son formuladas fundamentalmente a base de maíz y soja (SENASA, 2022). La creciente demanda, las características productivas y mercados internacionales fluctuantes inestabilizan los precios de dichos productos, sumado a que las zonas aptas para estos cultivos cada vez son menores y representan crecientes riesgos ambientales y sociales (El-Hack et al., 2020). Estos factores potencian permanentemente la búsqueda de alternativas que sean económica, ambiental y socialmente viables para la alimentación animal. La calidad, la cantidad y disponibilidad de los alimentos para animales pueden verse afectadas por el calentamiento global y el cambio climático, así como por el aumento de los costes de los insumos y la energía, lo que influye en la seguridad alimentaria mundial (El-Hack et al., 2020). Por ello, como hemos mencionado con anterioridad, gran parte de la investigación actual sobre nutrición de animales de corral se concentra en detectar fuentes alternativas de proteínas que sean más sostenibles que la soja, como los insectos o más puntualmente la LMSN (Heuel et al., 2021).

Algunos estudios han hecho análisis exhaustivos sobre el potencial reemplazo de la harina o aceite de soja convencional por la harina de LMSN deslipidizada (Mwaniki et al., 2018; Mwaniki et al., 2020) o por el aceite de LMSN (Kim et al., 2020) y sus efectos en la calidad de huevos y carne de aves. Pocos trabajos han analizado el reemplazo del componente proteico-lipídico de balanceados convencionales de aves de corral, por la harina de LMSN (suministrando juntos proteínas y lípidos como ingredientes presentes en dicha harina). Esta alternativa resulta sumamente interesante ya que se podría utilizar todo el contenido calórico y potencial nutricional disponible en la larva, y los costes de producción se verían significativamente reducidos, considerando que más del 50% de los costos de producción están dados por el alimento que consumen las aves (AVIMETRIA, Jaldo Alvarado 2020). Además, como se ha demostrado, los ácidos grasos de la LMSN no producen efectos adversos en la nutrición de pollos (Surendra et al., 2016 ; Sypniewski et al., 2020), por lo cual, serían potencialmente utilizables en las raciones (Heuel et al., 2021).

En nuestro estudio, se analizó y recopiló información sobre la composición química de LMSN, la cual resulta ser generalmente dependiente del sustrato de alimentación

utilizado para las larvas, por lo tanto, se dispone de un margen de control según el interés en la nutrición de aves de corral. Ahora, se expondrán los datos recopilados sobre: 1) La composición química que debe tener una dieta promedio para alimentar pollos parrilleros en sus diferentes etapas de crecimiento, y los suplementos alimenticios que suelen utilizarse en Argentina. 2) El estudio sobre el impacto de incorporar harina de LMSN en las dietas, respondiendo a los interrogantes: ¿Cuáles de los nutrientes necesarios para una dieta completa de pollos parrilleros están incluidos en la harina de LMSN? ¿Cuáles no? Además se realizará una comparación con otros suplementos. 3) El análisis comparado del rendimiento de ambas producciones, las basadas en harina de soja y en harina de larva; y el análisis de una posible sustitución del 10% de la producción de soja por harina de larva, para conseguir parámetros de evaluación y contraste. 4) Y por último, un análisis sobre los costes ambientales que se verían reducidos o mitigados con el reemplazo de la harina de larva por la de soja.

- 1) En cuanto a composición química indispensable de una dieta para aves de corral, podemos mencionar los siguientes nutrientes: proteína, fibra, ácidos grasos, ceniza y los minerales Ca, P y Mg (Kawasaki et al., 2019).

Un "alimento balanceado" recibe ese nombre justamente por tener una composición "ajustada" (o balanceada) a los requerimientos nutricionales de quien lo consume. En el caso del pollo parrillero, uno de los nutrientes más importantes es la proteína. Actualmente, la industria avícola obtiene esa proteína de dos principales suplementos, soja y harina de carne. Esto se debe a dos factores: precio y calidad proteica, entendiendo a esto último como la composición relativa de aminoácidos de esa proteína en relación a los requerimientos nutricionales del pollo parrillero. Las proporciones en una dieta a base de dichos suplementos alimenticios son soja en grano (entre 8,7 y 13,5 % del total de la dieta dependiendo de la etapa de crecimiento del animal), pellet de soja (entre 17,5 y 34,3%), maíz (entre 47,6 y 61,6%), harina de carne (entre 1,5 y 4,75%), aceite de soja crudo (entre 1,95 y 2,5%), y además micronutrientes agregados como los aminoácidos esenciales metionina, lisina y treonina (ante la carencia según los ingredientes anteriores); vitaminas y minerales como fósforo y calcio, en forma de carbonato de calcio, fosfato tricálcico y sal (en proporciones menores al 1%) (Kawasaki et al., 2019; Luna et al., 2019).

En resumen, los suplementos alimenticios más utilizados en el país son las

harinas animales como carne (50% de proteína), pluma (>75%), sangre (>80%), pescado (>50%), vísceras (>55% de proteínas), y pellet de soja (~40%), siendo este último el de mayor demanda a nivel mundial (El-Hack et al., 2020).

- 2) La harina de LMSN posee un contenido rico en proteínas y grasas, puesto en evidencia previamente en los resultados presentados en el apartado “Composición química de LMSN criadas en materia orgánica vegetal”, a través de la recopilación de información de numerosos autores. Por ello, desde la perspectiva desarrollada en el presente trabajo, la utilidad de la harina de LMSN en la nutrición animal, además, adquiere aristas de necesidad en términos de impacto ambiental, social y de demanda local y global de alimentos.

Como indican algunos autores, la lisina, la metionina y la treonina son los principales aminoácidos esenciales limitantes en las dietas basadas en cereales para aves de corral (El-Hack et al., 2020). A su vez, estos autores afirman que los insectos tienen altos niveles de estos aminoácidos esenciales y tienen un mejor perfil de aminoácidos en comparación con el de la harina de soja y la mayoría de las fuentes de proteína convencionales comunes (El-Hack et al., 2020). Las LMSN tienen grandes proporciones de lisina, arginina y valina (Spranghers et al., 2017; El-Hack et al., 2020), y pequeñas de metionina, treonina e isoleucina, y en general, el contenido de aminoácidos en el cuerpo de la larva varía durante su desarrollo, excepto en el caso de la lisina que se mantiene relativamente constante (El-Hack et al., 2020).

Como se mencionó anteriormente, hay aminoácidos esenciales que suelen añadirse a las dietas de pollos debido a que suelen encontrarse en baja proporción en los suplementos proteicos comúnmente utilizados. A continuación presentaremos los niveles de dichos aminoácidos en las diferentes alternativas de suplementos:

Aminoácidos esenciales	Harina de soja	Harina de pescado	Harina de plumas	Harina de carne	Harina de larva
Metionina	0,59	1,29	0,73	0,70	0,78
Lisina	2,74	3,33	2,41	2,73	2,37
Treonina	1,74	2,20	3,42	1,71	1,62

Tabla 2: Cuadro comparativo de cantidad porcentual de principales aminoácidos (cantidad % en base seca) según los diferentes suplementos. Datos extraídos de Rastagno et al. (2011) y de Spranghers et al. (2017).

Según estos datos, los niveles de aminoácidos esenciales en la harina de larva son muy similares a los niveles que se encuentran en otros suplementos como la harina de soja, de plumas y de carne; solo en comparación con la harina de pescado se encuentran niveles inferiores de dichos aminoácidos (Tabla 2). Esto representa una discordancia con algunos trabajos que plantean niveles de aminoácidos esenciales en LMSN mayores que en otros suplementos (Spranghers et al., 2017; El-Hack et al., 2020). Por ello sería de gran interés seguir analizando y trabajando para obtener datos que informen más específicamente sobre la digestibilidad de estos nutrientes, ya que los perfiles de aminoácidos y su digestibilidad son los principales indicadores de la verdadera disponibilidad de la proteína en dietas animales (El-Hack et al., 2020).

En cuanto a la composición de ácidos grasos, el ácido linoleico es un ácido graso esencial que es de importancia para las dietas de pollos parrilleros (Kawasaki et al., 2019). En el caso de la LMSN, se sabe que son deficientes en ácidos grasos esenciales, por lo tanto, es un aspecto de importancia para analizar al momento de decidir su inclusión en la dieta de pollos parrilleros (El-Hack et al., 2020).

La quitina es otro componente de importancia, ya que se encuentra en una considerable proporción (8% MS) en el cuerpo de la larva, sobre todo cuando se encuentra en el estadio de prepupa (Spranghers et al., 2017; El-Hack et al., 2020). En cuanto a la inclusión de este componente a dietas de animales, se ha informado que influye negativamente en la digestibilidad de los nutrientes incluso cuando se lo encuentra en bajas proporciones en dietas para algunas especies de peces y en las aves de corral (Spranghers et al., 2017), por lo que es de gran interés analizar el efecto de este ingrediente cuando se adiciona harina de larva como posible suplemento alimenticio.

Las larvas son ricas en Ca (5-8% MS) y P (0,6-1,5% MS) (Makkar et al., 2014; Spranghers et al., 2017). Principalmente el contenido de calcio resulta de interés y es uno de los suplementos comúnmente incorporados en la elaboración de balanceados para aves de corral, ya que no solo es clave para el fortalecimiento

óseo que sostiene el gran crecimiento muscular las primeras 3 semanas de vida, sino que también está íntimamente relacionado al metabolismo del fósforo, por lo que la presencia de este componente en una proporción adecuada sería una ventaja adicional de la harina de LMSN

Dieta	Harina de soja	Harina de pescado	Harina de plumas	Harina de carne	Harina de larva
Proteína	33	54,6	76,2	51,7	49,5
Fibra	5,43	0,69	SD	SD	23.2
Ácidos grasos	1,05	8,06	7,41	12,2	24,0
Ca	0,24	5,75	0,34	9,54	6,5
P	0,59	2,99	0,67	4,78	1,05
Mg	SD	0,16	0,03	0,42	0,26

Tabla 3: Cuadro comparativo de nutrientes esenciales (g% en base seca) de dietas para pollos parrilleros (Kawasaki et al., 2019) entre diferentes suplementos alimenticios. Datos de harina de soja, pescado, plumas y carne extraídos de Rostagno et. al., 2011. Datos de harina de larva extraídos de revisión bibliográfica de diferentes autores (Mutafela, 2015; Oonincx et al., 2015; Nyakeri et al., 2017; Spranghers et al., 2017; Wang y Shelomi, 2017; Barragan-Fonseca, 2018; Gligorescu et al., 2018; Kawasaki et al., 2019). SD significa SIN DATO.

Cuando se comparan los niveles de los nutrientes esenciales de las dietas de pollos parrilleros según los diferentes suplementos alimenticios, encontramos en general niveles superiores de proteínas, fibras, ácidos grasos y micronutrientes en la harina de larva en comparación con la de soja (Tabla 3). En particular, el calcio sería relevante ya que aportaría beneficios extra, debido a que suele ser un componente que se añade como suplemento a las dietas (fundamentalmente para ponedoras). Por otro lado, la presencia de algunos nutrientes en la harina de larva, como los ácidos grasos y la quitina, puede dar lugar a controversias o simplemente debe ser considerada. En el caso de la quitina porque genera potenciales problemas en la digestibilidad de nutrientes (Spranghers et. al., 2017), y en el caso del contenido de ácidos grasos por la deficiencia en ácidos grasos esenciales (El-Hack et. al., 2020). Este último punto es uno de los aspectos para continuar analizando y estudiando a futuro.

Considerando tanto factores económicos como ambientales, numerosos estudios consideran las LMSN como potencial sustituto de las tradicionales fuentes de proteínas cada vez más costosas para alimentar animales de corral, tales como la

harina de pescado o la de soja (Liu et al., 2017; Loponte et al., 2017). Existe un trabajo donde se plantea la posibilidad de reemplazar con un 4% otros suplementos alimenticios por la harina de larva como fuente de proteína. Se propone como un ingrediente alternativo prometedor que puede utilizarse para sustituir a la harina de soja y a la de pescado, desarrollando un ingrediente alimentario de base local para pollos que no compromete el rendimiento y la salud de las aves a través de la evaluación de parámetros sanguíneos (Mat et. al., 2022). Este 4% quizás es un porcentaje muy bajo, pero a nivel de reemplazo de producción podría representar un gran beneficio.

- 3) Hablando en términos productivos, según las Estimaciones Agrícolas de la Subsecretaría de Agricultura de la Nación, el rendimiento de granos de soja total por campaña 2019/2020 fue de 2927,14 kg/ha en el país (0,2927 kg/m², o lo que es lo mismo, aprox. 300 g/m²). El porcentaje de proteína promedio del grano de soja es de un 33%, con un contenido de humedad del 12,35%. Por lo que, en el caso de la soja, se corresponde con un rendimiento de 0,0846 kg/m² de proteína de soja (MS) en una campaña. Teniendo en cuenta que durante un año se realizan dos campañas de cultivo de soja, este valor se duplicaría, dando un valor redondeado de **0,2 kg/m²** de proteína de soja (MS) en el período de un año.

En PROCENS, se determinó una capacidad estimada de producción de LMSN de 50 kg larvas/día (materia fresca) en un contenedor que ocupa 36 m² (2,7 kg/m²). En nuestro análisis consideraremos el doble de superficie (72 m²) con el fin de contemplar no solo el espacio que se requiere para la cámara de cría, sino también, para el acopio de los residuos que se utilizan como sustrato, para el transporte y limpieza, y para el acopio del material resultante de la cría o enmienda. Además, considerando el contenido de proteína de la harina de larva de 49,5% (extraído de datos bibliográficos), y el contenido de humedad en la larva de un 67% (extraído de datos propios experimentales), el rendimiento en este caso tiene un valor de **41,4 kg/m²** de proteína de larva (MS) en un año.

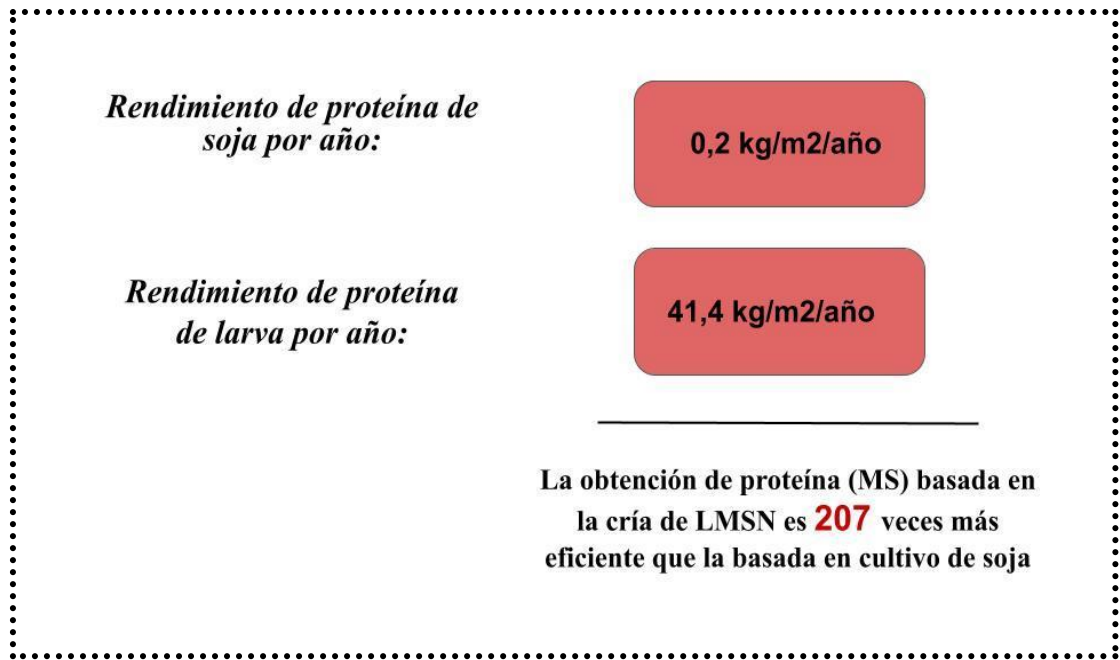


Fig. 2: Datos sobre el rendimiento de ambos tipos de producción de proteína (MS).

Estos datos muestran una sustancial diferencia en el rendimiento de producción de proteína basada en soja y en LMSN. En una misma superficie, se puede producir 207 veces más cantidad de proteína de larva que proteína de soja. Además la producción de harina de larva puede realizarse optimizando la superficie de producción de manera vertical. En PROCENS se realiza la cría en tres pisos de producción, esto podría optimizarse utilizando más pisos, lo cual significa posibilidades de ampliación de la producción por unidad de superficie de manera vertical, dando una diferencia aún mayor en el rendimiento de producción a favor de la harina de larva.

En este trabajo evaluamos la potencial sustitución de un 10% de la soja destinada actualmente en el país a la alimentación de pollos parrilleros, por harina de larva, y a partir de esto se realizó el siguiente análisis con datos extraídos del informe Anuario Avícola (MINAGRI 2021). Considerando que en el año 2021, se faenaron 750 millones de pollos, los cuales tenían un peso vivo promedio aproximado de 2,8 kg por individuo, obtenemos un valor de 2.100 millones de kg de pollo vivo en un año. Estos consumen un aproximado de 1,8 kg de alimento, por cada kilo que los constituye, en toda su vida, por lo cual en un año se requerirían 3.780 millones de kilos de alimento. Mínimamente, el alimento para pollos parrilleros tiene un 25% de harina de soja, por lo tanto, de

la cantidad total de alimento que se requiere por año, 945 millones de kilos son de soja. Como mencionamos, el rendimiento de la soja es de 2.927 kg/ha, entonces se utilizan 323 mil hectáreas de soja para producir la cantidad que se necesita para alimentar los 750 millones de pollos que se faenan anualmente. Con la hipotética sustitución que planteamos del 10% de harina de soja por harina de larva obtenemos un valor de **32.300 hectáreas** de campo con cultivo de soja que actualmente se destinan a la alimentación animal, que podrían destinarse a otros fines. A su vez, esa sustitución de un 10% representa 94,5 millones de kilos (94.500 tn) de soja, la cual sabemos que posee en su composición un 33% de proteína, por lo tanto resultan 31.185 tn de proteína que se requieren para suplir el 10%. La harina de larva tiene un porcentaje más elevado de proteína, un 49,5%, por lo cual se necesitarían **63.000 tn de harina de larva** en contraste a **94.500 tn de soja** para suplir la misma cantidad de proteína. Por último, sabemos que por cada tonelada de residuo orgánico que se procesa en la cría de LMSN, obtenemos 100 kg de harina de larva, y 400 kg de enmienda remanente, por lo tanto se procesaría una cantidad de 630.000 tn de residuos orgánicos, y se obtendrían 252.000 tn de enmienda. Estos valores nos vuelven a informar sobre un beneficio concreto de la implementación de la harina de larva en las raciones de pollos, ya que aún considerando un porcentaje bajo de reemplazo obtenemos resultados drásticos.

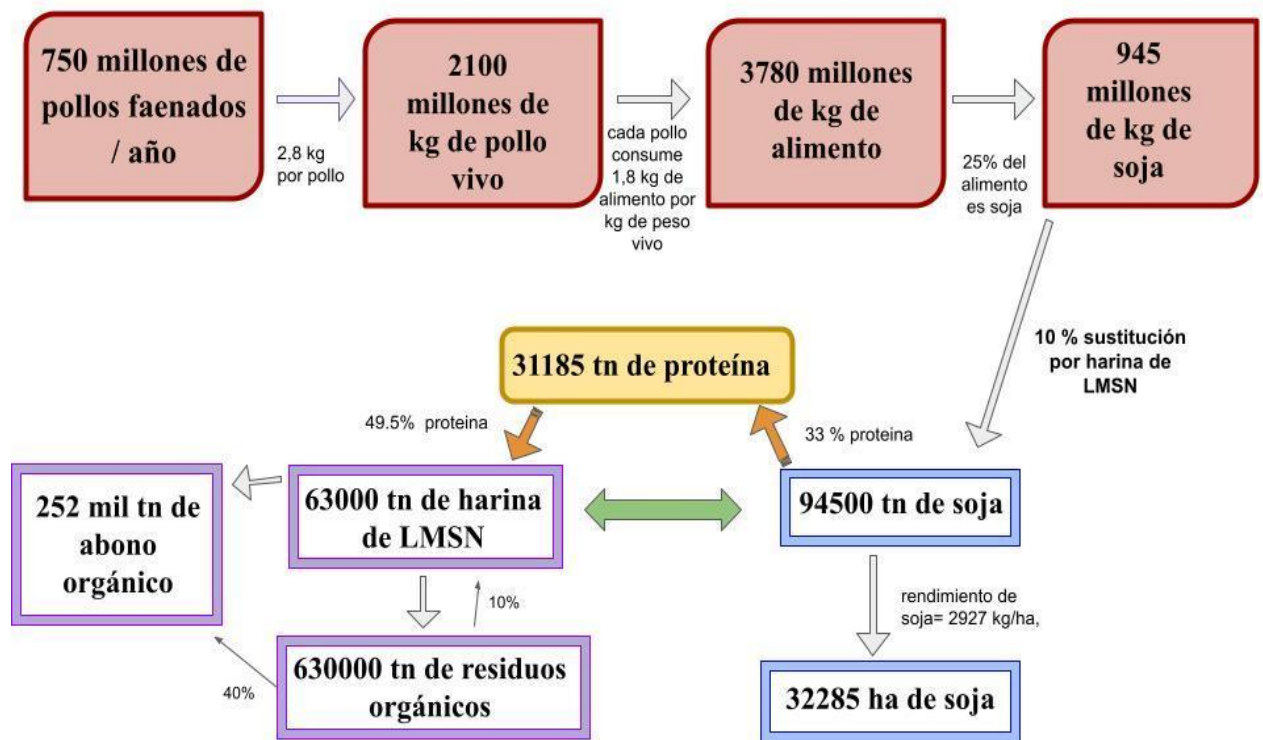


Fig. 3: Análisis del reemplazo de un 10% de la harina de soja por harina de larva.

- 4) En cuanto a los costes ambientales que se verían mitigados a través del reemplazo de la harina de soja por la harina de larva, los principales aspectos a considerar son la superficie de producción y la utilización de recursos que requieren ambos tipos de productos. En el caso del cultivo de soja, según las estimaciones oficiales de la Bolsa de Comercio de Rosario, la superficie cultivada en el período 2020/2021 fue de 16,9 millones de ha en el país. Esta superficie podría verse drásticamente reducida si al menos un porcentaje de la producción de soja para la alimentación de animales de cría se viera reemplazada por harina de LMSN, la cual requiere de una superficie mínima de producción. También estas superficies productivas cultivadas con soja dejarían de estar destinadas exclusivamente a la alimentación animal, lo que redundaría en mayor cantidad de grano para exportación, mayores posibilidades de incentivar la rotación de cultivos y así, indirectamente, aumentar la superficie productiva mitigando el perjuicio que actualmente se observa en tierras de producción intensiva. Además, la soja es uno de los cultivos que tiene la mayor demanda de recursos del ambiente, como nutrientes del suelo y agua (P: 7 kg/tn, K: 29-39 kg/tn, Ca: 15-20 kg/tn, Mg: 7-15 kg de nutrientes para producir una

tonelada de grano, por Berardo y Calvo, 2019). Este hecho, podría mitigar múltiples efectos negativos en el ambiente y la población asociados directamente al cultivo de soja, como la pérdida de biodiversidad, la desertificación, la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación de suelos y agua a través del uso de plaguicidas y herbicidas, entre otras causas que propician el deterioro ambiental y el riesgo en la salud de la población (Aizen et al., 2009).

Por último, aportando al análisis sobre los beneficios y posibilidades del uso de la LMSN como generadora de subproductos aprovechables podemos nombrar otro aspecto que aún está muy poco investigado y analizado. En este sentido, además de generar proteína aprovechable a través del uso de la harina de LMSN para la alimentación animal, el residuo procesado por las larvas podría ser utilizado como enmienda o fertilizante orgánico. Esto significaría una oportunidad de implementación de un sistema circular en producciones a pequeña o gran escala, pudiendo utilizar todos los productos resultantes de la cría de la larva para abastecer un sistema productivo. Simultáneamente, cuando se realiza una producción de LMSN a escala industrial, puede separarse la quitina, y utilizarse para producir quitosano, el cual (y en menor medida la quitina también), se utiliza como bioestimulante sobre las defensas vegetales contra plagas, hongos, bacterias, virus y organismos que atenten en contra de su salud y rendimiento (Sharif et al., 2018).

Conclusiones:

La implementación de la cría de la LMSN en sistemas productivos agrícolas en Argentina podría significar un gran aporte desde el punto de vista económico y ambiental. Al ser un sistema circular, podemos sacar provecho de cada uno de los pasos que conlleva el ciclo completo de la cría de la larva, desde la utilización de variedad de residuos orgánicos como sustrato de cría de LMSN, del aprovechamiento de la larva como alimento para aves de corral (y potencialmente otros animales de cría), hasta la utilización del sustrato remanente de cría como fertilizante de cultivos. Además, el análisis teórico realizado en este trabajo demostró que la producción de harina de larva es muy conveniente, e incluso tiene gran potencial para reemplazar otros recursos

actualmente utilizados, como la harina de soja, la cual posee un sinfín de desventajas relativas en el mediano plazo a nivel económico, social y ambiental. Aún quedan algunas aristas que requieren de futuras investigaciones, tales como conocer los sustratos ideales para su cría y las estrategias de suministro de alimento a los fines de obtener larvas con la calidad nutricional óptima para su utilización en la alimentación animal. Contamos con evidencia contundente que nos indica que la LMSN es un recurso prometedor para comenzar a transformar la producción de alimentos en Argentina hacia sistemas más rentables y amigables con el ambiente, sus ecosistemas y sus habitantes.

Bibliografía:

- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., & Dondo Bühler, M. B. (2009). Expansión de la soja y diversidad de la agricultura argentina. *Ecología Austral*, 19(1):45-54.
- Alaiz, M., et al. (1992) Amino acid analysis by high-performance liquid chromatography after derivatization with diethyl ethoxymethylenemalonate. *Journal of Chromatography* 591:181-186.
- Altieri, M. (2009). Agroecología, pequeñas fincas y soberanía alimentaria. *Ecología Política* 38:25-35.
- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2018) Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166(9):761-770.
- Berardo A. & Reussi Calvo N. (2019) Pautas para el manejo de la fertilización en soja. Mar del Plata. Laboratorio de suelos Fertilab. Disponible en: <https://www.laboratoriofertilab.com.ar/Trabajos/2009.Manejo%20de%20la%20fertilizacion%20en%20Soja.pdf> (consultado 14/6/2022)
- Browne, L. B. (1995). Ontogenetic changes in feeding behavior. En: *Regulatory mechanisms in insect feeding* Chapman, R. F., & de Boer, G. (Eds.) Springer, Boston, MA.
- Cammack, J. A., & Tomberlin, J. K. (2017). The impact of diet protein and carbohydrate on select life-history traits of the black soldier fly *Hermetia illucens* (L.)(Diptera: Stratiomyidae). *Insects*, 8(2):56.
- Davidson, I., & P. O'Connor (2008). Amino acid analysis. En: *Molecular Biomethods Handbook*. Second Edition. Humana Press
- Diener, S., Study Solano, N., Roa Gutiérrez, F., Zurbrügg, C. & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using Black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valorization*, 2,357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>
- El-Hack, A., Mohamed, E., Shafi, M. E., Alghamdi, W. Y., Abdelnour, S. A., Shehata, A. M. & Ragni, M. (2020). Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) meal as a promising feed ingredient for poultry: a comprehensive review. *Agriculture*, 10(8): 339.
- Furman, D. P., Young, R. D., & Catts, P. E. (1959). *Hermetia illucens* (L.) as a factor in the natural control of *Musca domestica* Linnaeus. *Journal of Economic Entomology*, 52(5):917-921.

Gligorescu, A., Toft, S., Hauggaard-Nielsen, H., Axelsen, J. A., & Nielsen, S. A. (2018). Development, metabolism and nutrient composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*; Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature and diet. *Journal of Insects as Food and Feed*, 4(2):123-133.

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

Gobbi, P., Martínez-Sánchez, A., & Rojo, S. (2013). The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *European Journal of Entomology*, 110(3): 461.

Hall, D.C. & Gerhardt, R.R. (2002) Flies (Diptera). En: *Medical and Veterinary Entomology*. Mullen G, D. (Ed.). Academic Press, San Diego, California..

Heuel, M., Sandrock, C., Leiber, F., Mathys, A., Gold, M., Zurbrügg, C., & Terranova, M. (2021). Black soldier fly larvae meal and fat can completely replace soybean cake and oil in diets for laying hens. *Poultry Science*, 100(4):101034.

Jaldo Álvaro, D. M. (2020). *Cadena de carne avícola en Argentina: una estimación de la magnitud y la distribución de las rentas generadas por políticas comerciales en el sector cerealero (Tesis de Maestría) Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Católica Argentina.*

Jucker, C., Erba, D., Leonardi, M. G., Lupi, D., & Savoldelli, S. (2017) Assessment of vegetable and fruit substrates as potential rearing media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Environmental Entomology*, 46(6):1415-1423.

Kawasaki, K., Hashimoto, Y., Hori, A., Kawasaki, T., Hirayasu, H., Iwase, S. I. & Fujitani, Y. (2019). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and pre-pupae raised on household organic waste, as potential ingredients for poultry feed. *Animals*, 9(3): 98.

Kim, Y. B., Kim, D. H., Jeong, S. B., Lee, J. W., Kim, T. H., Lee, H. G., & Lee, K. W. (2020). Black soldier fly larvae oil as an alternative fat source in broiler nutrition. *Poultry Science*, 99(6): 3133-3143.

Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Rehman, K., Li, W., & Yu, Z. (2017). Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS One*, 12(8): e0182601.

Loponte, R., Nizza, S., Bovera, F., De Riu, N., Fliegerova, K., Lombardi, P., & Moniello, G. (2017). Growth performance, blood profiles and carcass traits of Barbary partridge (*Alectoris barbara*) fed two different insect larvae meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*). *Research in Veterinary Science*, 115:183-188.

Luna, A., Tarifa, M. F., Fernández, M. E., Caliva, J. M., Pellegrini, S., Zygadlo, J. A., & Marin, R. H. (2019). Thymol, alpha tocopherol, and ascorbyl palmitate supplementation as growth enhancers for broiler chickens. *Poultry science*, 98(2): 1012-1016.

Makkar, H. P., 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.

Manurung, R., Supriatna, A., ESYANTHI, R. R., & Putra, R. E. (2016) Bioconversion of rice straw waste by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.): optimal feed rate for biomass production. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(4):1036-1041.

Mat, K., Kari, ZA, Rusli, ND, Rahman, MM, Harun, HC, Al-Amsyar, SM, & Hassan, AM (2022). Efectos de la inclusión de harina de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) sobre el rendimiento del crecimiento y los constituyentes del plasma sanguíneo en la producción de pollos de engorde (*Gallus gallus domesticus*). *Revista Saudita de Ciencias Biológicas*, 29 (2): 809-815.

Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M., & Gasco, L. (2018) Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15): 5776-5784.

MINAGRI (2021). Informe Anuario Avícola - Año XXVI N° 84. Disponible en : <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/aves/informes/boletines/index.php>

Mutafela, R. N. (2015). High value organic waste treatment via black soldier fly bioconversion: onsite pilot study (Master of Science Thesis). *Industrial Ecology*, Royal Institute of Technology. Stockholm.

Mwaniki, Z., Neijat, M., & Kiarie, E. (2018). Egg production and quality responses of adding up to 7.5% defatted black soldier fly larvae meal in a corn–soybean meal diet fed to Shaver White Leghorns from wk 19 to 27 of age. *Poultry science*, 97(8): 2829-2835.

Mwaniki, Z., Shoveller, A. K., Huber, L. A., & Kiarie, E. G. (2020). Complete replacement of soybean meal with defatted black soldier fly larvae meal in Shaver White hens feeding program (28–43 wks of age): impact on egg production, egg quality, organ weight, and apparent retention of components. *Poultry science*, 99(2): 959-965.

Newton, L., Sheppard, C., Watson, D. W., Burtle, G., & Dove, R. (2005) Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value added tool for the management of swine manure. *Animal and Poultry Waste Management Center*, North Carolina State University, Raleigh, NC, 17.

Disponible en

https://aquacircle.org/images/pdfdokumenter/udvikling/andre/amerika/svinemanure_soldier_fly.pdf (consultado 14/06/2022).

Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2013) Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4):898-906.

Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental Entomology*, 44(2): 406-410.

Nyakeri, E. M., Ogola, H. J. O., Ayieko, M. A., & Amimo, F. A. (2017). Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3):193-202.

Oonincx, D. G., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., & van Loon, J. J. (2015) Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS One*, 10 (12).

Pengue, W. A. (2005) *Agricultura industrial y transnacionalización en América Latina: la transgénesis de un continente*. México.

Rodríguez Venandy, C. (2012) *Producción de biogás a partir del bagazo cervecero*. (Tesis de Grado) Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile..

Rojas, E. M., & Orozco, N. (2008) *Degradación de residuos de almidón y cárnicos, mediante la producción de la larva soldado negra (Hermetia illucens L.)*. (Tesis de Grado) Universidad de La Salle, Bogotá

Romero, N. (2006). *Métodos de Análisis para la Determinación de Nitrógeno y Constituyentes Nitrogenados en Alimentos*. *Producción Y Manejo De Datos De Composición Química De Alimentos En Nutrición*, 0, 165–230.

Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., de Oliveira, R. F., Lopes, D. C. & Euclides, R. F. (2011). *Composición de alimentos y requerimientos nutricionales*. Disponible en: http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23669/1/Tesis_2057. (consultado 14/06/2022)

- Rubio, L. A., & Molina, E. (2016) Las leguminosas en alimentación animal. *Arbor*, 192(779):315.
- SENASA (2021). Aves. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/senasa/programas-sanitarios/cadenaanimal/aves#:~:text=En%20a%20%C3%BAltima%20d%C3%A9cada%20la,producci%C3%B3n%20estimada%202.5%20mil%20toneladas> (consultado 14/06/2022)
- Sharif R, Mujtaba M, Ur Rahman M, Shalmani A, Ahmad H, Anwar T, Tianchan D, Wang X. (2018) El papel multifuncional del quitosano en los cultivos hortícolas; Una revisión. *Moléculas*. 23 (4): 872. doi: 10.3390/moléculas23040872.
- Sheppard, D. C., Newton, G. L., Thompson, S. A., & Savage, S. (1994) A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology*, 50(3): 275-279.
- Sheppard, D. C., & Newton, G. L. (2000) Valuable By Products of a manure management system using the black soldier fly. A literature review with some current results. In *Proceedings of the 8th international symposium of animal, agricultural and food processing wastes*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI .
- Shumo, M., Osuga, I. M., Khamis, F. M., Tanga, C. M., Fiaboe, K. K., Subramanian, S. & Borgemeister, C. (2019). The nutritive value of black soldier fly larvae reared on common organic waste streams in Kenya. *Scientific reports*, 9(1): 1-13.
- Siddiqui, SA, Ristow, B., Rahayu, T., Putra, NS, Yuwono, NW, Mategeko, B. y Nagdalian, A. (2022). Larvas de mosca soldado negra (BSFL) y su afinidad por el procesamiento de desechos orgánicos. *Gestión de residuos*, 140:1-13.
- Smetana, S., Schmitt, E., & Mathys, A. (2019) Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 144:285-296.
- Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Ovyne, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B. & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8): 2594-2600.
- St Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Tomberlin, J. K., Newton, L. & Irving, S. (2007). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(2): 309-313.
- Surendra, K. C., R. Olovier, J. K. Tomberlin, R. Jha, & S. K. Khanal. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98:197–202.
- Sypniewski, J., B. Kieronczyk, A. Benzertiha, Z. Mikołajczak, E. Pruszyńska-Oszmałek, P. Kołodziejcki, M. Sassek, M. Rawski, W. Czekała, & D. Jozefiak. (2020). Replacement of soybean oil by *Hermetia illucens* fat in Turkey nutrition: effect on performance, digestibility, microbial community, immune and physiological status and final product quality. *British Poultry Science*. 61:294–302.
- Tomberlin, J. K., & Sheppard, D. C. (2001) Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Florida Entomologist*, 84(4):729-730.
- Tomberlin, J. K., Adler, P. H., & Myers, H. M. (2009) Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental Entomology*. 38(3):930-934.
- Wang, Y. S., & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10), 91.
- Zheng, L., Hou, Y., Li, W., Yang, S., Li, Q., & Yu, Z. (2012) Biodiesel production from rice

straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. Energy, 47(1):225-229.