

Producción de proteína (y frass) a partir de insecto *Hermetia illucens* (mosca soldado negra)

Protein (and frass) production using insect *Hermetia illucens* (black soldier fly)

Alumna: Alejandra Alliende Piotrowski

Carrera: Ingeniería Civil Industrial

24/12/2023

Resumen ejecutivo

En la actualidad se están buscando fuentes alternativas de proteína, debido a la gran presión que ejercen las fuentes de proteína animal y vegetal sobre el medioambiente, así como para mitigar los problemas de seguridad alimentaria que cada vez afectarán más a la humanidad, a medida que aumenta la población mundial. Dentro de estas alternativas están los insectos, como la mosca soldado negra, cuya larva tiene un alto contenido de proteína, comparable a las otras fuentes. Así, la empresa SM Consulting se ha interesado en producir proteína a partir de mosca soldado negra, pero, al ser una industria muy nueva, la información disponible para conocer el proceso no es muy precisa. Por esta razón, si es un negocio rentable, se requiere implementar primero una planta piloto experimental, para la cual se ha planteado como objetivo descubrir el proceso, para poder diseñarlo y modelarlo de tal forma que se pueda alcanzar una productividad de 0,3 kg de larvas deshidratadas/día. Se levantó información para buscar alternativas de solución sobre métodos y tecnologías útiles en este proceso, determinándose que una forma adecuada podría ser criar al insecto en un sistema vertical, que consiste en preparar bandejas con alimento para larvas e inocular cada bandeja con una cantidad de larvas jóvenes de 6 días de edad, tal que no se exceda la densidad de 5 larvas/cm². La larva excreta frass, que es un equivalente al humus de lombriz, por lo que además de valorizar la larva por su proteína, también se obtiene un subproducto valorizable. La solución también recomienda mantener a la mosca en una sala con luz artificial versus un invernadero con luz directa del sol, debido a las condiciones ambientales de Chile, donde la temperatura no es constante, así como la nubosidad, lo que afectaría el éxito de apareamiento de las moscas. Se realizó una evaluación a escala comercial y se determinó que el proyecto es rentable, por lo que tiene sentido implementar un piloto para mejorar los parámetros de producción. Se modeló el proceso productivo para la escala de piloto experimental, se evaluaron sus costos, y se propuso un layout. La expectativa es que una vez construido el piloto experimental, durante 6 meses se realicen pruebas para precisar los parámetros óptimos de operación, para lo cual se propuso un plan de experimentación. En tanto se obtienen los datos experimentales, se han estimado teóricamente las temperaturas y tasas de sobrevivencia requeridas para lograr la productividad objetivo en base a modelos de regresión con significancia estadística, obtenidos de un estudio en la literatura, donde se determinó que, para la eclosión de huevos, la cría de larva, la cría de prepupa y la cría de pupas se requieren 32°C, 31°C, 31°C y 23°C respectivamente, con tasas de éxito de 78%, 90%, 82% y 69% respectivamente.

Abstract

Alternative sources of protein are currently being sought, due to the pressure that animal and plant protein sources exert on the environment. Also, they may mitigate food security problems that will affect humanity, as the world population increases. One of these alternatives are insects, such as the black soldier fly, whose larva has a high protein content, comparable to other sources. Thus, the company SM Consulting has been interested in producing protein from black soldier flies, but, as it is a very new industry, the information available to understand the process is not very precise. For this reason, if it is a profitable business, it is necessary to implement an experimental pilot plant. To do that, the objective has been set to discover and design the process, in such a way that a productivity of 0.3 kg of dehydrated larvae/day can be achieved. Information was collected to look for alternative solutions on methods and technologies useful in this process, determining that an appropriate way to do it is raising the insect in a vertical system, which consists on preparing trays with food for larvae and inoculating each tray with a number of 6 days old larvae, taking care that the density of 5 larvae/cm² is not exceeded. The larva excretes frass, which is an equivalent to worm humus, so in addition to valuing the larva because of its protein, a valuable by-product is also obtained. The solution also recommends keeping the flies in a room with artificial light instead of using a greenhouse with direct sunlight, due to the environmental conditions of Chile, where the temperature is not constant, as well as cloud cover, which would affect flies mating success. A commercial-scale evaluation was made and it determined that the project is profitable, so it makes sense to implement a pilot to improve production parameters. The production process was modeled for the experimental pilot scale, its costs were evaluated, and a layout was proposed. The expectation is that once the experimental pilot is built, tests will be carried out for 6 months to specify the optimal operating parameters, for which an experimentation plan was proposed. While the experimental data are obtained, the temperatures and survival rates required to achieve the target productivity have been theoretically estimated based on regression models with statistical significance, obtained from a study from the literature, where it was determined that: for eggs hatching, larval rearing, prepupal rearing and pupal rearing it is required 32°C, 31°C, 31°C and 23°C respectively, with success rates of 78%, 90%, 82% and 69% respectively.

Índice

I. Contexto	5
La empresa	5
Ciclo de vida de la mosca soldado negra y productos	5
¿Por qué criar insectos como fuente proteica?	6
Oportunidad para la empresa en Chile	9
II. Problema	10
Problema y KPI	10
Impacto económico del problema	12
Proceso	12
III. Objetivo y medida de desempeño	14
IV. Análisis de causas	15
V. Estado del arte	17
VI. Solución	20
Alternativas de solución	20
Criterios de selección	1
Solución escogida	3
VII. Metodología	4
VIII. Desarrollo e implementación del proyecto	14
IX. Resultados	16
X. Conclusiones y discusión	17
XI. Referencias	19
XII. Anexos	21

I. Contexto

La empresa

SM Consulting es una empresa de selección de personal y asesoría de empresas, que adicionalmente cuenta con un área de desarrollo de nuevos negocios. Sobre este particular, ha logrado desarrollar e implementar dos proyectos: uno de aseo industrial, y otro de maquila de azúcar, con una operación de más de 50 personas. Actualmente, la empresa busca implementar un tercer proyecto que consiste en la producción de proteína a partir de insectos, específicamente, del insecto *Hermetia Illucens*, conocida como **mosca soldado negra (MSN)**¹. El proyecto está a cargo exclusivamente del gerente de la empresa, en esta fase inicial de descubrimiento del proceso.

Ciclo de vida de la mosca soldado negra y productos

Como se observa en la figura 1, la MSN pasa por distintos estados durante su ciclo de vida: huevo, larva, prepupa, pupa y, finalmente, mosca, la cual se aparea y pone huevos, comenzando un nuevo ciclo.

Figura 1. Ciclo de vida de la Mosca Soldado Negra

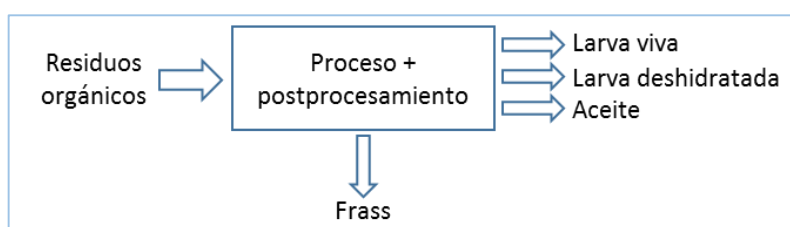


Obtenido de Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini-review

¹ Puede revisar el Glosario en Anexo 1, para entender con más detalles los conceptos y abreviaciones asociados al ciclo de vida de la MSN y su producción.

El mayor contenido proteico del insecto se alcanza en el estado de larva madura, justo antes de convertirse en prepupa, por lo que en aquella etapa se debe cosechar para posteriormente comercializarse como larva viva, larva deshidratada o como harina, según el mercado al que se dirija. Estos productos pueden utilizarse para alimentar animales, como peces y gallinas, además de usarse como ingrediente para alimento para mascotas (gatos, perros y animales exóticos). Paralelamente, durante el período larvario, el insecto se alimenta de residuos orgánicos que, a través del proceso digestivo de la larva, se van transformando en compost o humus. En el caso particular de la larva, este humus es llamado *“frass”*. Es decir, se obtiene un subproducto durante el proceso que también tiene valor. Por otro lado, puede obtenerse aceite como producto final, que puede usarse para producir biodiesel, sin embargo, la empresa está interesada en la proteína por ahora, por lo que este proyecto se enfocará en la obtención del insecto como fuente proteica para alimentar animales (ver figura 2).

Figura 2. Esquema resumen del proceso de transformación de residuos orgánicos en productos por parte de la larva de MSN.

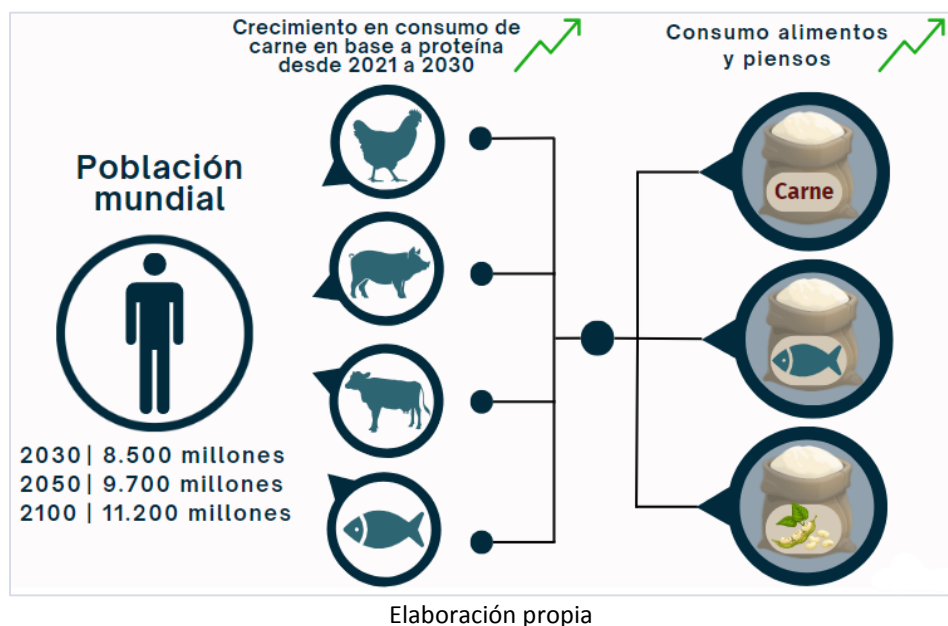


Productos y subproducto comercializables obtenidos del proceso y postprocesamiento de la larva de la mosca soldado negra.

¿Por qué criar insectos como fuente proteica?

El sostenido crecimiento de la población mundial, que a su vez aumenta la demanda de proteína en el mundo, generándose un desafío de **seguridad alimentaria** que exige fuentes proteicas alternativas. Se estima que, a nivel global, el consumo de carne en base a proteína entre los periodos 2021 y 2030, crecerá un 13,8% (OCDE&FAO, 2021). Esto se explica en parte por el sostenido aumento de la población mundial, que al 2030 alcanzará los 8.500 millones de habitantes. A su vez, los animales que consume el ser humano, también requieren de fuentes de proteínas (figura 3).

Figura 3. Población mundial y consumo de proteína



Dentro de los 17 objetivos de desarrollo sostenible que ha planteado la ONU, el segundo corresponde a “Hambre Cero”. Este objetivo busca garantizar, entre otras cosas, la seguridad alimentaria², enfatizando que para ello es imprescindible transformar los sistemas alimentarios e invertir en prácticas agrícolas sostenibles (ONU, 2023).

Uno de los factores que ha puesto en riesgo la seguridad alimentaria, es el cambio climático, ya que la escasez hídrica, la erosión de los suelos, las plagas y enfermedades, y los eventos climáticos extremos, entre otros, inciden directamente sobre la productividad, competitividad y sustentabilidad del sector agropecuario (ODEPA , 2022). En la figura 4 se observa lo recién mencionado, pero además se observa la propuesta de sistemas de cultivo “del futuro” que consisten en diseños modulares cerrados, que son capaces de mitigar parcial o totalmente los riesgos que enfrenta el sector agropecuario debido al cambio climático. En este tipo de cultivo, pueden criarse insectos como la mosca soldado negra y obtenerse proteína.

² Seguridad alimentaria: “existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana” (FAO).

Figura 4. Panorama actual de riesgos de los sistemas de cultivos de alimentos de origen vegetal, animal, y de los futuros sistemas de cultivo.

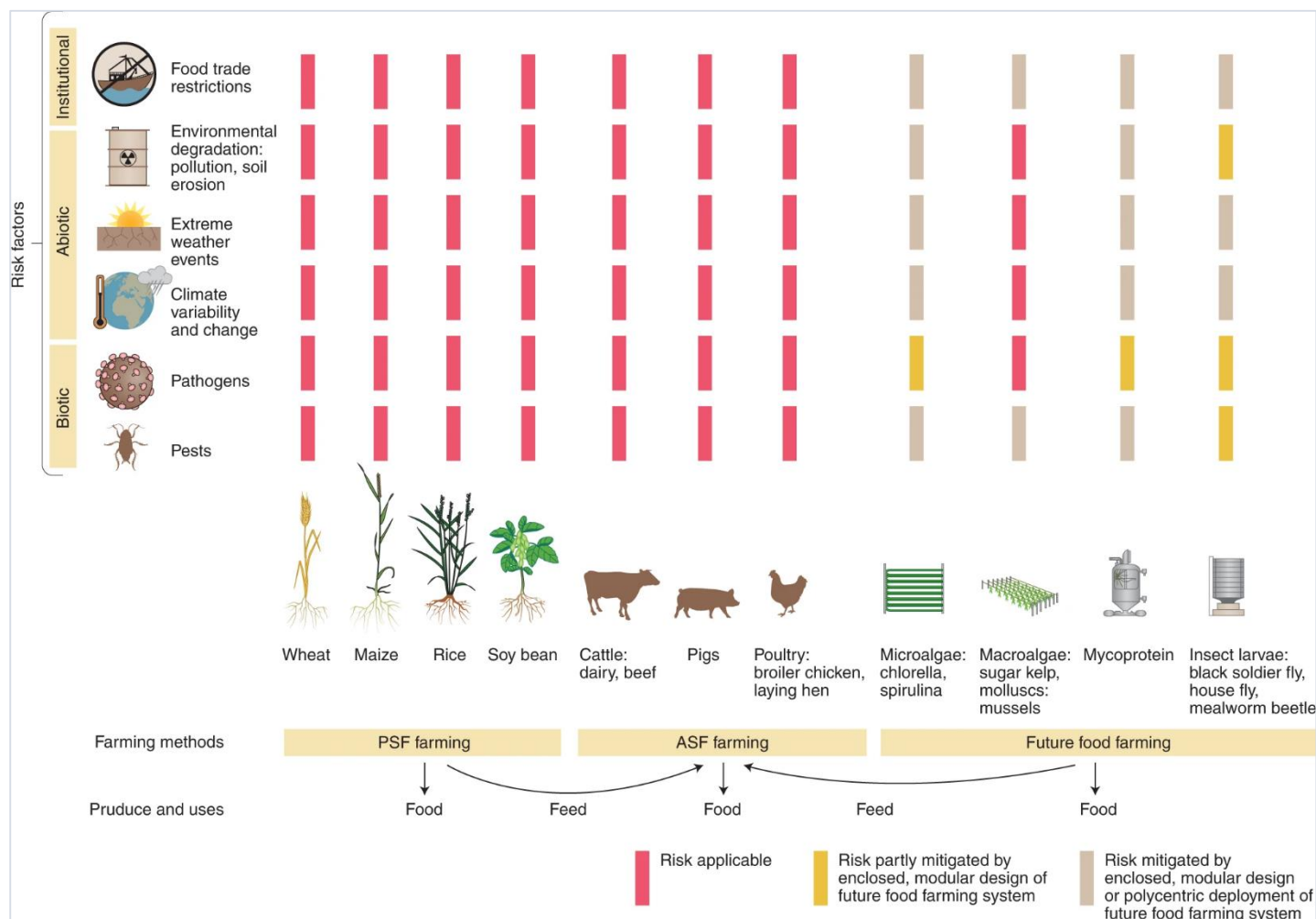


Figura 4. PSF: Sistema de cultivo de alimento de origen vegetal; ASF: Sistema de cultivo de alimento de origen animal; Future food farming: sistemas de cultivo del futuro, con diseño modular cerrado (micoproteínas y cría de larvas de insecto). Obtenido de “Future foods for risk-resilient diets” (Tzachor, Richards, & Holt, 2021).

Así, surge la necesidad de buscar una fuente de proteína alternativa en los insectos, tanto para animales como para humanos. Particularmente, el presente informe se enfocará en el mercado de alimento para animales, que es más aceptado culturalmente en la actualidad, aunque cabe mencionar que en Europa son varias las empresas que ya están produciendo proteína de insecto apta para el consumo humano, como ingrediente en distintas preparaciones: snacks, pastas, condimentos, helado, cerveza, etc.

Según un reporte de *Meticulous Research*, “se espera que el mercado de la mosca soldado negra crezca un 30,5% (CAGR) a partir de 2022 hasta alcanzar los 3.960 millones de dólares en 2033.

En términos de volumen, se espera que este mercado crezca un 36,9% (CAGR) a partir de 2022 hasta alcanzar 8.003,7 mil toneladas en 2033” (Meticulous Research, 2022).

Oportunidad para la empresa en Chile

La industria de producción de proteína a partir de la MSN es incipiente en Chile, por lo que actualmente existen pocos competidores, cuya participación incluso podría considerarse beneficiosa, pues han abierto en el país un mercado nuevo, del que se tiene poca información histórica. En anexo 3 puede ver qué productos en base a mosca soldado negra se venden en Chile, sus precios y las empresas que lo producen y/o comercializan.

Por otro lado, existe la oportunidad de asociarse comercialmente con la empresa agrícola Dos Marías, ubicada en la región de Coquimbo, que cultiva hortalizas y produce desechos orgánicos como residuos de sus procesos, los que pueden utilizarse como alimento para la larva. Por esta razón, la empresa SM Consulting precisa elaborar una propuesta de proyecto de producción de proteína a partir de la MSN, y presentarla a la empresa Dos Marías, con el objetivo de negociar una inversión compartida y construir la planta en sus instalaciones, para evitar costos de logística al no tener que transportar los residuos orgánicos desde otros lugares, pues ellos mismos los proveerían.

Inicialmente, para poder presentar una propuesta y evaluar la viabilidad del proyecto, se necesita descubrir el proceso de producción de proteína a partir de MSN, ya que la empresa no cuenta actualmente con este conocimiento y no hay en la literatura una descripción exacta del proceso completo a nivel industrial, además de que existen múltiples alternativas de combinaciones tecnológicas para llevarlo a cabo. En este contexto se desarrolla el presente proyecto, que busca investigar, descubrir y diseñar el proceso productivo, eligiendo las tecnologías más apropiadas, para finalmente hacer una evaluación técnica y económica y determinar la viabilidad del proyecto.

La dificultad de lo anteriormente mencionado es que la supervivencia de la larva, así como su peso final, dependen de variados factores, tales como temperatura, densidad, iluminación, tipo de dieta y condiciones de la postura de huevos, por lo que la productividad está sujeta a una alta variabilidad si estos no se controlan apropiadamente. Por esta razón, si el negocio es rentable, se requiere primero producir a una escala de planta piloto experimental para aprender a manejar estos parámetros hasta lograr mantenerlos en valores constantes, y luego pasar a una producción a escala mayor. Por lo tanto, este proyecto buscará diseñar el proceso considerando todos estos factores que producen variabilidad en la productividad.

II. Problema

Problema y KPI

Este proyecto no parte de una situación base, sino que es un punto de partida que busca diseñar un nuevo proceso, para lo cual se requiere investigar y levantar información. La dificultad de esto es que existe una barrera de acceso a información precisa, tanto del proceso mismo, como de las tecnologías más eficientes para lograr los parámetros que permitan la crianza exitosa de la MSN y así obtener una productividad constante y continua a nivel industrial.

Por lo tanto, el problema que enfrenta la empresa es que **desconoce el proceso** y la influencia de las variables ambientales en el nivel de producción obtenido, por lo que este estaría sujeto a una **alta variabilidad en la cantidad producida** entre un periodo y otro. Por esta razón, el KPI en el que se basará el análisis será productividad. Particularmente, el formato de producto final seleccionado en este proyecto será **larvas deshidratadas**, por lo tanto, el KPI de productividad estará dado por:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{kg de larvas deshidratadas}}{1 \text{ ciclo}} = \frac{\text{kg de larvas deshidratadas}}{\text{día}}$$

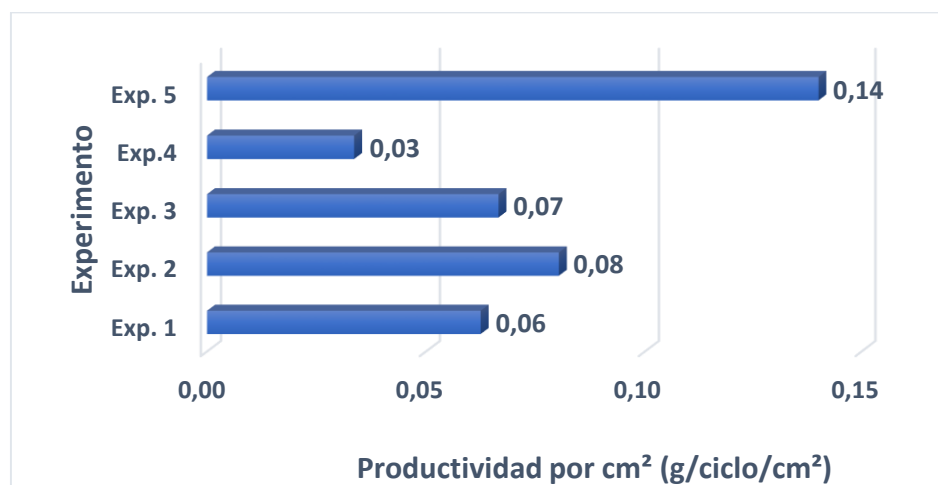
Cabe mencionar que el ciclo de la MSN completo dura aproximadamente 45 días, donde la cosecha de larvas ocurre aproximadamente 20 días después desde que la mosca pone los huevos que darán origen a dichas larvas. En este caso, se considerará un estado de producción estacionario, ya que se espera que la producción sea constante y continua, donde diariamente se cosechen larvas, por lo que el KPI se mide en el tiempo de 1 día, pero es equivalente a lo que se obtiene del lote de producción de 1 ciclo.

Un ejemplo que evidencia el problema de la variabilidad productiva, es que los parámetros óptimos de producción recomendados en la literatura vienen dados en rangos (ver tabla de rangos en anexo 2), pues los estudios que hasta la fecha han buscado determinar cuáles son las mejores condiciones para producir, no coinciden necesariamente en el valor de los parámetros, e incluso, a veces, se contradicen.

En la figura 5 se muestran algunos experimentos de diferentes estudios encontrados en la literatura, que han utilizado distintos parámetros ambientales de producción, y como consecuencia, difieren en su productividad alcanzada. Estos datos se estandarizaron transformando las larvas

frescas obtenidas en cada uno de los estudios a gramos de larva deshidratada obtenidos por una unidad de superficie (cm^2). Ver anexo 4 para más detalles sobre el cálculo.

Figura 5. Productividad de larvas deshidratadas (g/ciclo/cm^2) obtenidas de diferentes estudios, con distintos parámetros ambientales de producción.



Adicionalmente, los resultados prácticos de productividad a nivel comercial también difieren de lo obtenido por estos estudios, aunque se sigan cuidadosamente las recomendaciones de la literatura. Lo anterior se ha concluido en base a dos entrevistas realizadas a empresas que actualmente participan de esta industria, donde se conversó con el productor de la empresa Biotech (Valparaíso, Chile), así como con el cofundador y con el encargado de producción de la empresa Procens (Balcarce, Argentina). Un ejemplo concreto de esta brecha teórico-práctica, es que la literatura establece que es contraproducente que las larvas en etapa de engorde se expongan temperaturas muy elevadas, indicando incluso que esta situación es aún más perjudicial que exponerla a temperaturas bajas. En cambio, el encargado de producción de la empresa Procens, comentó que, en su experiencia, altas temperaturas nunca perjudicaron la producción, sino que, por el contrario, mientras más elevadas eran, más comían las larvas y, por lo tanto, mayor era la productividad. Sin embargo, sí pudieron confirmar que temperaturas ambientales por debajo del rango recomendado son perjudiciales, pues las larvas dejaron de comer y la productividad bajó considerablemente. Otro caso donde ocurre una contradicción es respecto a la humedad, donde se recomienda en los estudios que las salas de reproducción donde están las moscas, tengan altos niveles de humedad relativa (sobre 70% idealmente). En cambio, la empresa Procens, en la práctica

descubrió que, al disminuir la humedad de la sala cercano a un 50%, aumentó los niveles de reproducción, y, por lo tanto, la cantidad de huevos cosechados. Esto vislumbra la importancia de experimentar, pues se necesita garantizar que se alcancen los parámetros óptimos, dado que el proceso está influenciado por los factores ambientales, así como por factores que la empresa decide respecto a sus propias necesidades y oportunidades.

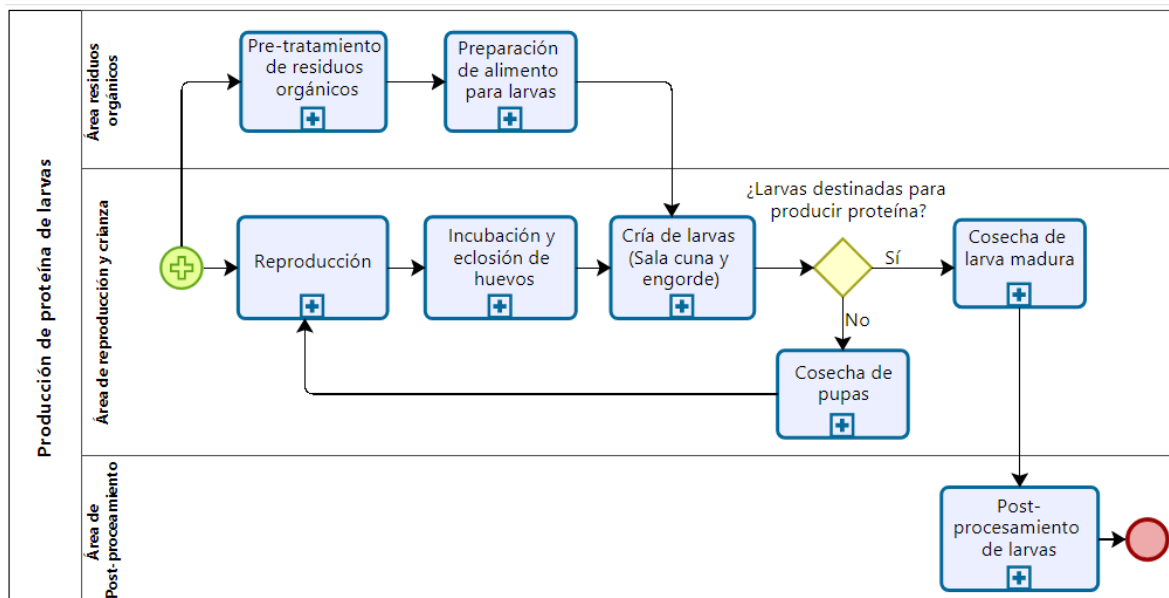
Impacto económico del problema

No controlar la variabilidad de la producción de larvas de MSN, por desconocer el proceso y las tecnologías, provoca que no se pueda garantizar rentabilidad alguna, ya que, por un lado, los costos pueden resultar sobredimensionados, al usar métodos más caros o menos eficientes energéticamente, mientras que, por otro lado, la productividad podría caer drásticamente al verse aumentadas las tasas de mortalidad del insecto entre un estado y otro de su ciclo de vida, lo que puede traducirse en que no se perciban ingresos por ventas, independiente del comportamiento del mercado. Esto configura una barrera de entrada al mercado, aunque este esté en crecimiento.

Proceso

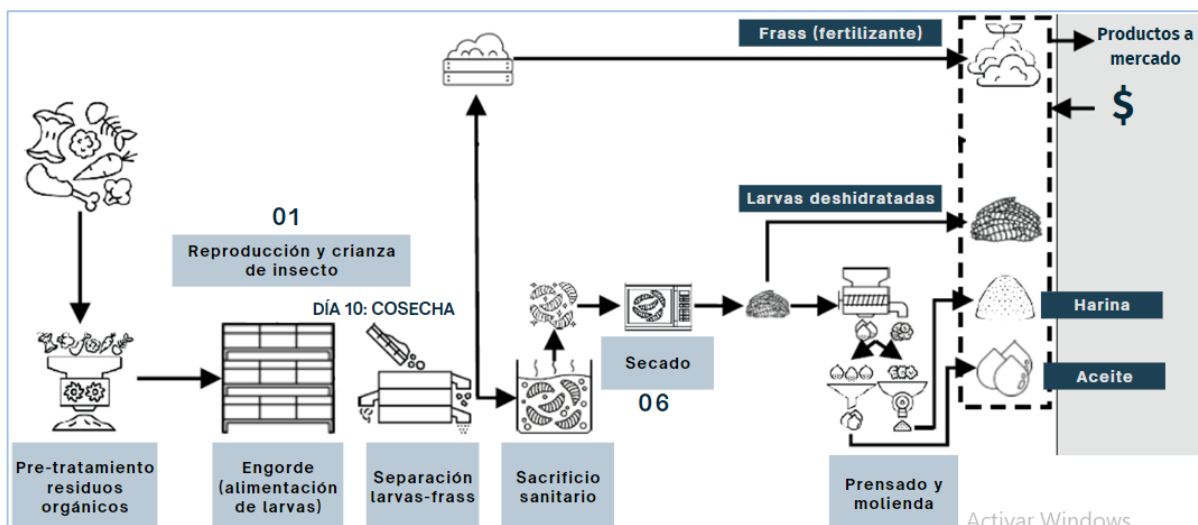
En general, la productividad se puede ver afectada en cualquier estado del ciclo de vida del insecto, por lo que el proceso en general debe ser diseñado adecuadamente en todas sus etapas (ver figura 6), pero con mayor relevancia en los subprocesos de reproducción, incubación y eclosión de huevos, y crianza de larvas.

Figura 6. Proceso de producción de proteína a partir de mosca soldado negra.



Elaboración propia Bizagi. Este proceso asume un estado estacionario.

Figura 7. Diagrama del proceso más detallado



III. Objetivo y medida de desempeño

Antes de plantear el objetivo, es necesario explicar algunos parámetros que se tomarán como supuestos para definir el objetivo. La productividad es impactada por el peso final promedio de la larva, así como la cantidad de larvas que sobreviven hasta el día de la cosecha. Como se ha mencionado, la dieta de alimentación de la larva afecta dichos parámetros como puede observarse en la tabla 1. En base a ella, y considerando que la empresa Dos Marías proveería residuos orgánicos vegetales, se tomará como referencia de peso promedio final de la larva **0,14 g**, obtenido de la dieta “Residuos vegetales”. De la misma forma, se tomará como tasa de conversión de alimento a frass, un 48%, acorde a la dieta de “frutas y vegetales” de la tabla 1.

Tabla 1. Tasa de conversión y peso promedio final de larva para diferentes dietas

Dieta	Tasa de conversión de residuos orgánicos (%)	Peso final promedio larva (g)
Residuos de cocina	-	0,173
Residuos de restaurant	-	0,154
Frutas y vegetales	43-64	0,123
Residuos vegetales	-	0,140
Residuos de pescado	19-54	0,143

Obtenido y traducido desde “Global experiences on waste processing with black soldier fly (*Hermetia illucens*): from technology to business”

Además, se elegirá la densidad de larvas por superficie máxima recomendada, con el objetivo de alcanzar la mayor productividad posible, es decir, 5 larvas de 6 días de edad por cm² (ver tabla 2).

Tabla 2. Densidad recomendada de larvas 6D por cm²

Densidad	Larva 6D/cm²
Mínima	1,2
Máxima	5

Adicionalmente se considera la tasa de sobrevivencia de la larva desde los 6 días de edad hasta que es madura, que es un 90%, así como la pérdida de peso de la larva al ser secada para deshidratarla, que es de un 80% aproximadamente.

En el anexo 5 se conectan estos datos para traducirlo en el KPI de interés de productividad de peso de larvas deshidratadas obtenidas por día, de lo que se obtiene lo planteado a continuación en el objetivo.

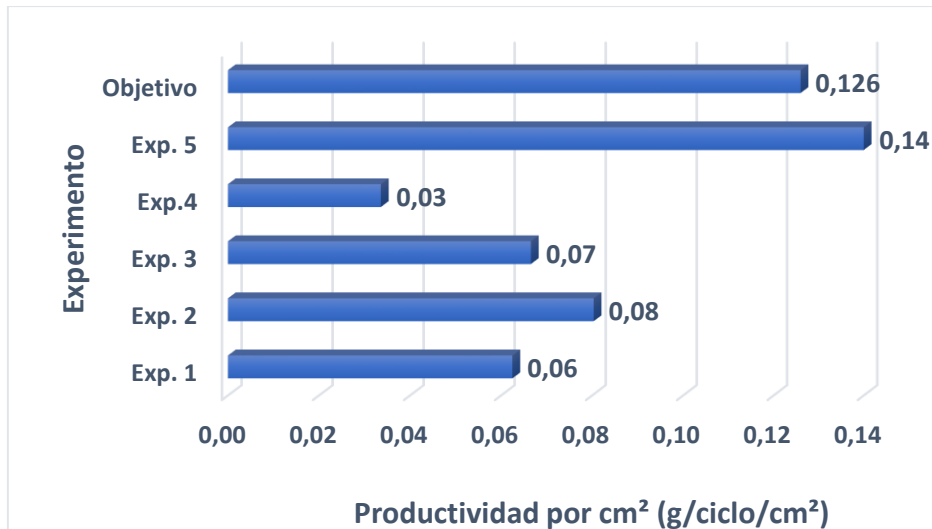
Objetivo: diseñar e implementar una planta piloto experimental de obtención de proteína a partir de mosca soldado negra, que sea capaz de producir un nivel mínimo de productividad equivalente a:

$$Productividad = \frac{Peso\ larvas\ deshidratada[kg]}{día} = \frac{0,126 [g/cm^2]}{día}$$

En un horizonte de tiempo de 6 meses desde que se inicien las experimentaciones.

En la figura 8 se observa la productividad objetivo respecto a la productividad que se obtendría de los estudios mencionados anteriormente.

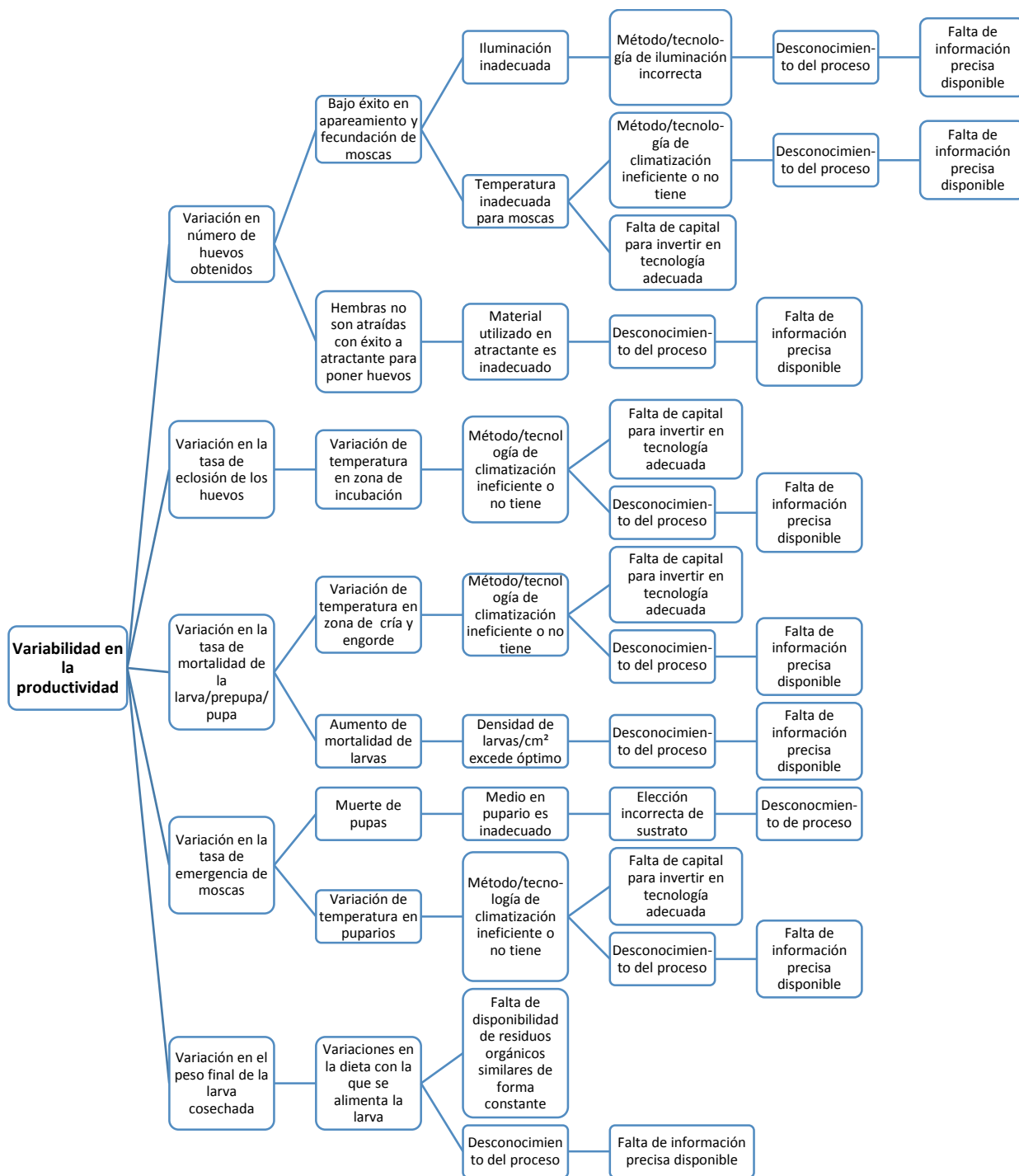
Figura 8. Productividad objetivo y productividad de la literatura.



IV. Análisis de causas

El problema de la variabilidad de la productividad se debe a factores ambientales, como la temperatura e iluminación principalmente, así como a la dieta con la que se alimenta a la larva, la densidad de larvas por superficie y el éxito de la postura de huevos. Además, la humedad también afecta al proceso. En la figura 9 se presenta un diagrama que resume las causas raíces principales del problema.

Figura 9. Diagrama 5 por qué para problema de variabilidad en la productividad.



En anexo 6 puede ver estudios que explican la relación entre las variables de temperatura, dieta, iluminación y densidad, y las tasas de sobrevivencia del insecto y su peso final.

V. Estado del arte

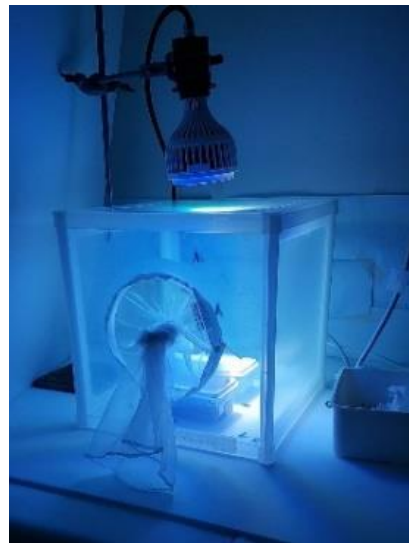
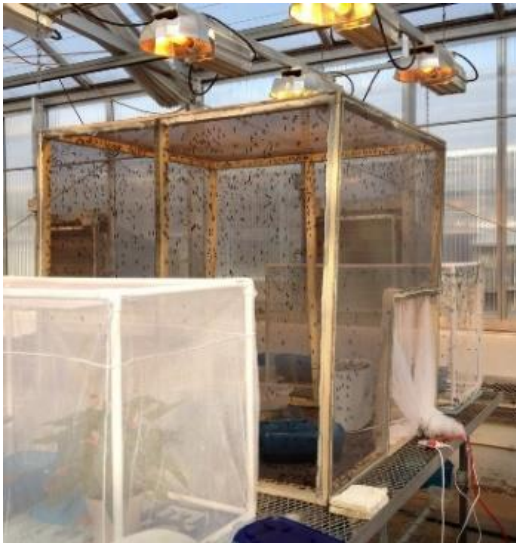
Frente al panorama de la creciente demanda de proteína y el desafío de seguridad alimentaria, se ha desarrollado la industria de la obtención de proteína a partir de insectos, teniendo más antigüedad en Europa, donde los procesos productivos ya han alcanzado altos niveles de automatización y eficiencia. Por otro lado, en las regiones de Asia y África, en las zonas que tienen climas tropicales, también se ha desarrollado esta industria, aunque con un mayor componente manual, dado la mayor limitación de capacidad de inversión. Por su parte, en América Latina, aunque es más nueva en la industria, está aumentando su participación, haciendo uso de diferentes métodos y combinaciones tecnológicas. En el subproceso de reproducción, hay alternativas de salas de reproducción o bien, jaulas con mallas que contendrán las moscas (Figura 10).

Figura 10. Salas/jaula de reproducción



Dependiendo del clima, puede utilizarse un invernadero con luz natural, o bien un espacio cerrado con luz artificial, necesario para la estimulación del apareamiento de las moscas (figura 11).

Figura 11. Métodos de iluminación



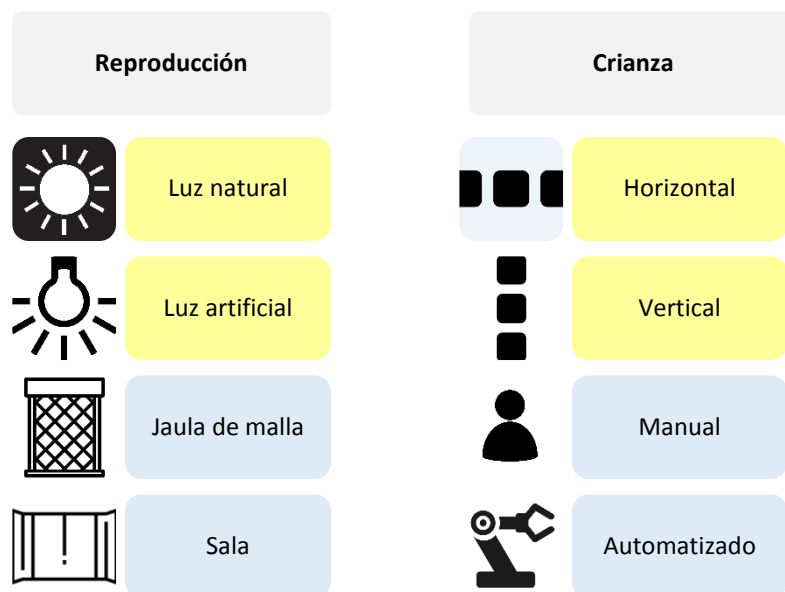
Por otro lado, en el subproceso de cría de larvas, el espacio donde son alimentadas puede ser en sistema horizontal, usando pits o piscinas a nivel de piso, o un sistema vertical, utilizando estantes con bandejas para contener las larvas que se estarán alimentando de los residuos orgánicos (figura 12)

Figura 12. Sistemas de crianza y engorde de larvas



En síntesis, en la figura 13 se muestra un esquema que representa las distintas opciones de métodos y tecnologías principales que pueden utilizarse en el proceso de reproducción, así como en el de crianza.

Figura 13. Esquema resumen de combinaciones tecnológicas y métodos de producción

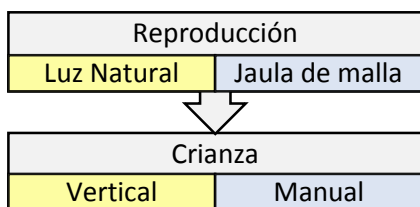


VI. Solución

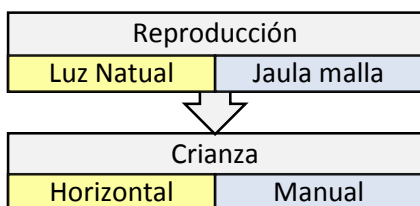
Las soluciones propuestas consistirán en cuatro alternativas de combinación de las tecnologías y métodos (según lo más mencionado en el levantamiento de información) mencionadas anteriormente, y se evaluará la más conveniente según criterios de factibilidad técnica y económica.

Alternativas de solución

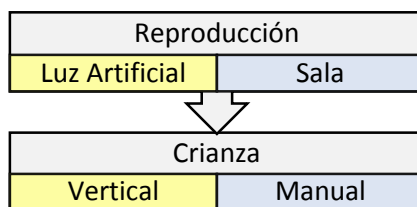
1. Alternativa A:



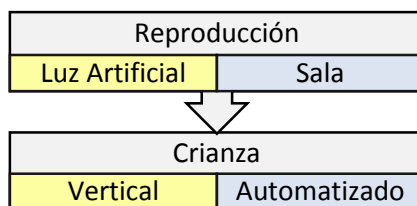
2. Alternativa B:



3. Alternativa C:

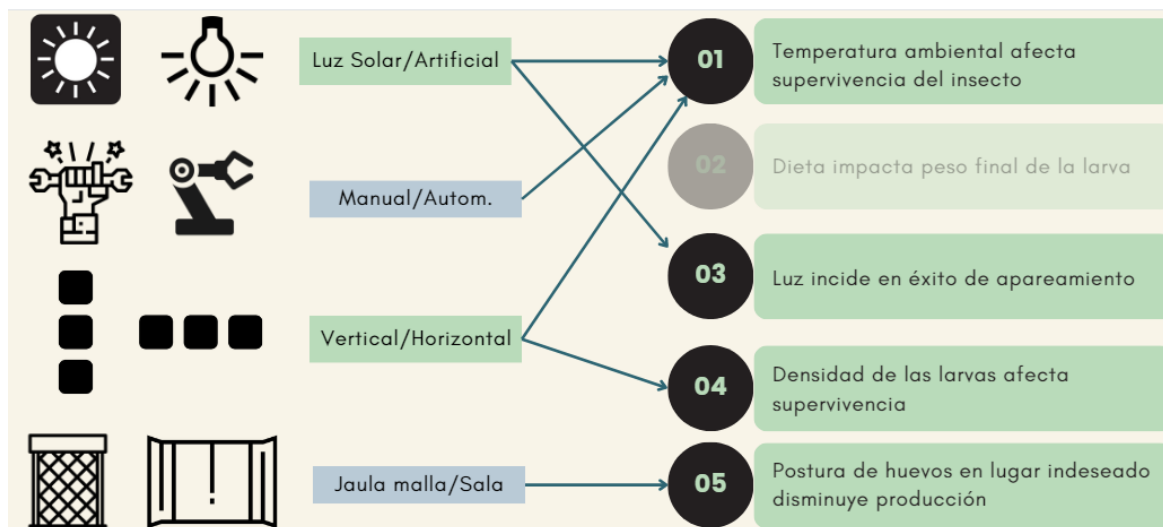


4. Alternativa D:



Estas alternativas de solución pueden relacionarse con 4 de las 5 raíces del problema de variabilidad en la productividad (ver figura 14).

Figura 14. Conexión de alternativas de solución con causas raíces del problema



Criterios de selección

Los criterios de selección serán evaluados mediante una escala de Likert, cuya escala consiste en 5 puntuaciones (desde 1 a 5), donde 1 corresponde a “muy bajo”, y 5 corresponde a “muy alto”. Luego, la alternativa cuyo puntaje sea el mayor, se seleccionará para desarrollarla e implementarla.

A continuación, se definirán los criterios de selección a utilizar para elegir la mejor alternativa de solución, así como también se asignará una ponderación a cada uno de ellos, que representará la importancia del criterio en el contexto del problema abordado y los intereses de la empresa.

- 1. Control de condiciones ambientales dada la zona geográfica:** según la potencial ubicación del piloto experimental (región de Coquimbo, Chile), se evalúa cuál alternativa sería más apropiada para asegurar una mejor reproducción y supervivencia del insecto. Este criterio es altamente relevante, ya que se requieren, por un lado, condiciones ambientales constantes para disminuir la variabilidad en la producción, así como rangos de temperaturas

específicos. Por lo tanto, si el clima de la zona geográfica no cumple estos requerimientos, deberán implementarse métodos que compensen la variación de condiciones ambientales y que asegure los parámetros óptimos. Por estas razones, a este criterio se le asigna una ponderación de 45%.

2. **Ahorro en costo energético:** para lograr tasas óptimas y relativamente constantes de reproducción y supervivencia del insecto, se deben mantener los espacios de reproducción y crianza bajo parámetros de temperatura específicos, por lo que este criterio evalúa cuál alternativa sería menos costosa para asegurar estas condiciones durante todo el proceso de producción. Este criterio es altamente relevante para la empresa, así como para la factibilidad económica del proceso, por lo que se le asigna una ponderación de 35%
3. **Nivel de producción (beneficio):** se evalúa con cuál de las alternativas se obtendría un mayor rendimiento, es decir, cuál permitiría obtener un mayor nivel de producción, a partir de una misma cantidad de insectos al comienzo del ciclo. Esto se relaciona directamente con una menor variabilidad en la producción, ya que obtener un mejor rendimiento, implica que las tasas de reproducción y supervivencia del insecto se mantuvieron en rangos recomendables relativamente constantes. Por lo tanto, pese a que el objetivo del piloto experimental es determinar y mejorar los parámetros propios de producción, y no necesariamente generar grandes volúmenes de producción para obtener ingresos por ventas, dado que este criterio se asocia a una menor variabilidad de producción, y, por lo tanto, al problema abordado, se le asigna una ponderación de 15%
4. **Ahorro en inversión en tecnología:** se evalúa cuál alternativa sería menos costosa en términos de la tecnología requerida para implementarse el piloto experimental. Existe flexibilidad por parte de la empresa respecto al capital a invertir en este piloto, estableciéndose un monto límite de aproximadamente \$20.000.000. En base a lo investigado, 3 de las 4 alternativas de solución pueden adaptarse para mantenerse en este presupuesto, por lo que a este criterio se le asigna una ponderación de 10%.
5. **Ahorro en espacio:** evalúa cuál alternativa requeriría menos superficie construida para ser implementada. La empresa garantiza que existe alta disponibilidad de espacio para construir el piloto, por lo que el espacio no sería una limitante importante. Por otro lado, este criterio no afecta en mayor medida la variabilidad de los niveles de producción (problema abordado), siempre y cuando se controlen las condiciones del espacio de forma adecuada. Por esta razón, a este criterio se le asigna una ponderación de 5%.

En anexo 7 se observa la puntuación en la escala Likert a partir de la cual se seleccionó la solución.

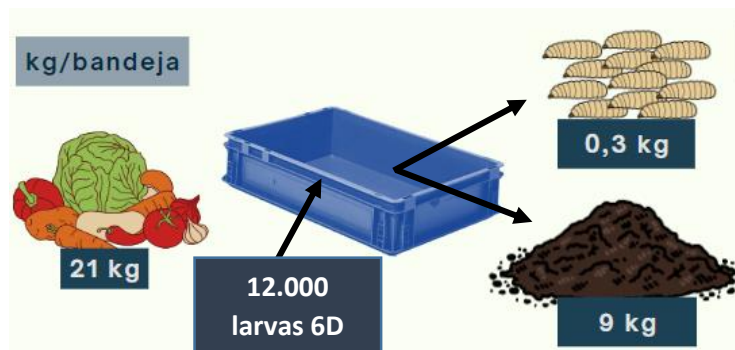
Solución escogida

La alternativa de solución más conveniente luego de evaluar todas las combinaciones, fue la alternativa C, que corresponde a ***diseñar un proceso de producción que cuente con un sistema de sala con luz artificial para el subproceso de reproducción, y un sistema de crianza de larvas vertical operado manualmente.***

**Considerando que un sistema vertical utilizaría bandejas de 40x60x12 cm (ver figura 15), el objetivo planteado puede concretarse en que la meta de productividad sea:*

$$\frac{\text{Peso larvas deshidratadas [kg]}}{\text{día}} = \frac{0,000126 \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right] \cdot 2400 [\text{cm}^2]}{\text{día}} = 0,3 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Figura 15. Productividad de larvas deshidratadas (y frass) por bandeja.



Los datos de las cantidades son supuestos basados en la literatura disponible respecto a las tasas de conversión de alimento a frass y a biomasa de larva.

VII. Metodología

Para lograr el objetivo y elaborar una propuesta para los inversores, se requiere concretar las siguientes etapas:

1. Planta piloto experimental

a) Definir objetivo de la planta piloto

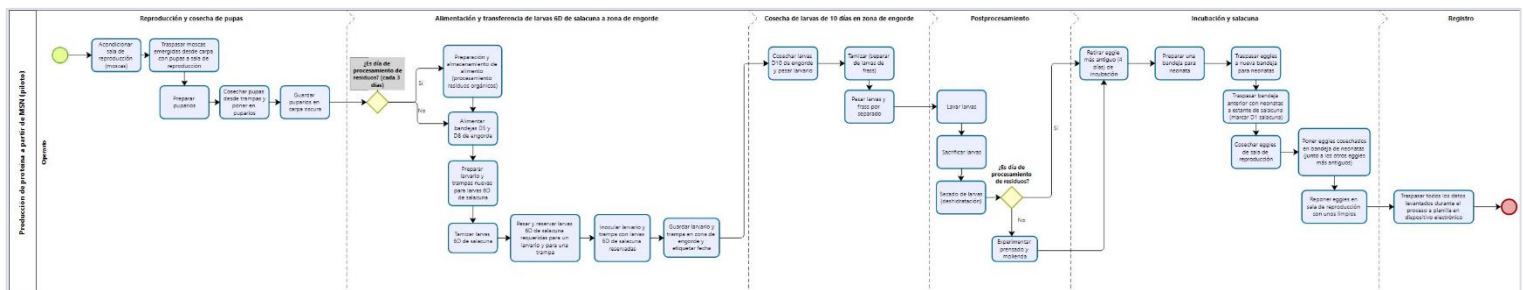
Un requisito de la experimentación con plantas pilotos, es que esta debe ser tan pequeña como sea posible, pues la prioridad es levantar información, a través de la experimentación, y no que sea rentable necesariamente.

b) Diseñar proceso: modelamiento

En la figura 16 se muestra una vista previa del proceso, que para el piloto experimental queda definido en 6 fases:

- Reproducción y cosecha de pupas
- Alimentación y transferencia de larvas de sala cuna a sala de engorde
- Cosecha de larvas maduras (10D/e)
- Post-procesamiento:
 - Sanitización (lavado)
 - Sacrificio
 - Secado (deshidratación)
 - *No obligatorio: prensado y molido
- Incubación y sala cuna
- Ordenamiento de información en planillas en dispositivo electrónico

Figura 16. Proceso de producción de proteína a partir de mosca soldado negra, en escala de piloto experimental



Elaboración propia en Bizagi. Ver en anexo 8 el mismo proceso por partes ampliado para mayor visibilidad.

Adicionalmente, en el anexo 9, se detallan los tiempos de cada actividad del proceso. Puede observarse que una persona puede realizar todas las tareas al día, dentro de un horario laboral de 9:00 a 18:00 hrs.

Para estimar cuánto se requiere de cada estado del insecto para obtener los 0,3 kg de larva deshidrata/día, se fijaron primero los parámetros en base a la investigación realizada, tanto estudios como entrevistas (tabla 3, tabla 4 y figura 17). Cabe destacar que estos parámetros son los que justamente se pretenden precisar en un piloto experimental, por lo que ahora se fijan para tener un punto de partida en la experimentación.

Tabla 3. Pesos promedio (kg) del insecto en los distintos estados de su ciclo.

Estado del ciclo	Peso promedio (kg)
Huevo	0,0000000256
Larva neonata (día 1: D1)	0,00000002
Larva joven (día 6: D6)	0,0000586
Larva madura y Prepupa	0,00014
Pupa	0,00013
Mosca	0,0000735

Tabla 4. Tasas de supervivencia del insecto entre un estado y otro, y huevos por oviposición.

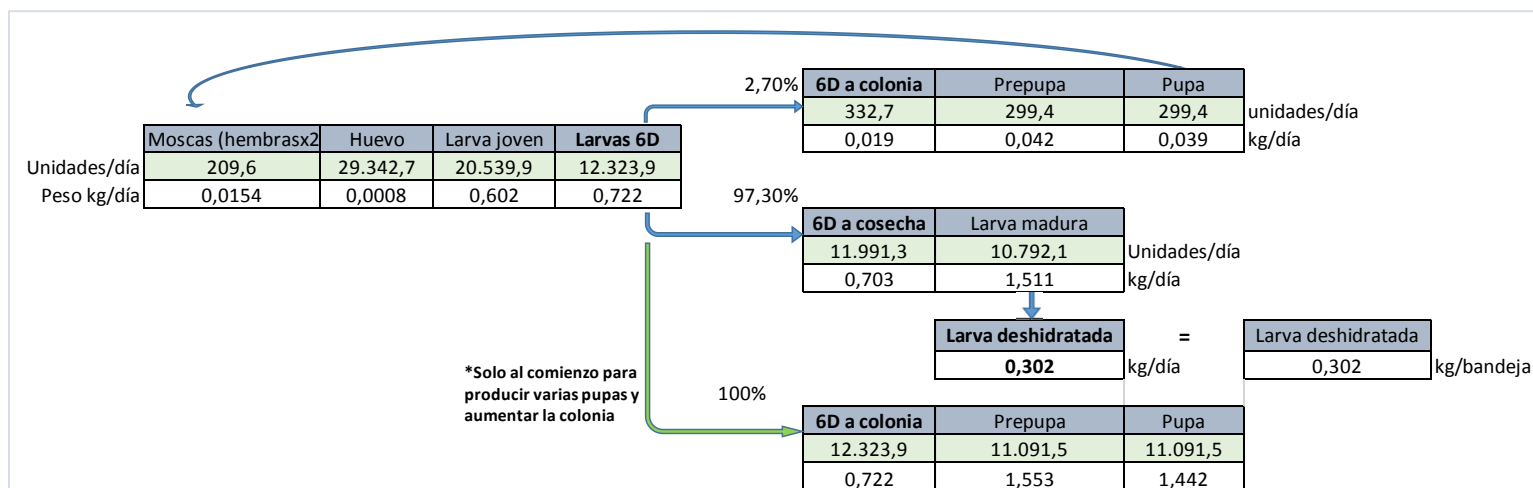
Estado del ciclo	Descripción tasa	Tasa (%)
Huevo → neonata	Eclosión	70
Larva D1 → Larva D6	Supervivencia larva joven	60
Larva 6D → Prepupa	Supervivencia larva madura	90
Pupa → Mosca	Emergencia	70
Estado del ciclo	Descripción	Cantidad (unidades)
Mosca → huevo	Oviposición	350

Figura 17. Parámetros de temperatura, humedad y densidad fijados para partir experimentos (anexo 2) y entrevista a empresas Procens y Biotech Valparaíso.

Parámetros	Valor
T sala reproducción (mosca) °C	25
T incubación °C	25
T sala cuna °C	25
T incubación+sala cuna °C	25
T pupas °C	25
T zona engorde	20
Humedad moscas %	50
Humedad sala cuna %	60
Humedad incubación %	60
Humedad incubación+sala cuna %	60
Densidad larvas 6D (larva/cm2)	5

De esta manera, se obtiene el siguiente flujo de kg de insecto/día, a través del proceso:

Figura 18. Flujo de kg de insecto a través del proceso



El flujo de la figura 18 representado por flechas azules es el que ocurre en una producción continua que ya ha alcanzado un nivel estacionario. El flujo de la flecha verde aplica solo para el comienzo, ya que el objetivo será en un inicio formar la colonia de moscas; en este caso no es estacionario aun, por lo que el ciclo completo tomará 45 días que corresponde al ciclo de vida de la MSN.

c) Métodos y tecnologías

- **Sala de reproducción:** como se mencionó en la solución elegida, se utilizará una luz artificial especial para mosca soldado negra (figura 19), que estimula su apareamiento al encenderla por 12 horas en la sala. También, se utilizarán como eggies, 5 tablas de madera unidas, dejando un espacio entremedio para que la mosca ponga sus huevos (figura 20)

Figura 19. Luz artificial para sala de reproducción



Figura 20. Eggies



- **Incubación:** se utilizarán dos bandejas como incubadoras (figura 21), con un colador sobre el cual irán los eggies con huevos hasta que eclosionen y caigan las neonatas a través de los agujeros del colador, al sustrato especial para neonatas de la bandeja

Figura 21. Incubadoras de eggies para eclosión de neonatas en formato de bandeja



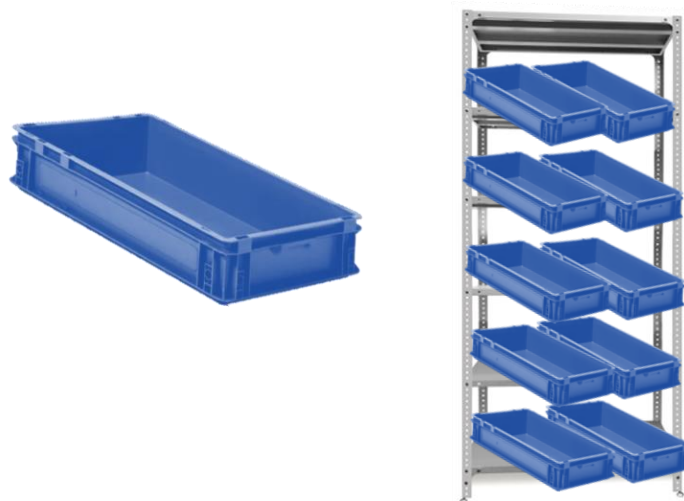
Cabe mencionar que se desea experimentar también el uso de incubadoras de huevos (figura 22) para ver si este método podría tener ventajas en cuanto a eficiencia energética, ya que el método con las bandejas requiere que ambientalmente el espacio se mantenga a una temperatura elevada, mientras que en una incubadora se puede regular la temperatura de forma más localizada.

Figura 22. Incubadora de huevos: alternativa a incubadora con bandejas



- **Sala Cuna:** la bandeja de incubadora, una vez que eclosionan los huevos, se pone en un estante y pasa a ser la bandeja del “Día 1” de la larva en sala cuna.
- **Zona de engorde:** larvarios o bandejas de engorde. Acorde a la solución seleccionada, se utilizará un sistema vertical con bandejas (figura 23). Se requerirá solo 1 estante donde se irá agregando una bandeja diariamente por 10 días cada una.

Figura 23: Bandeja de engorde o larvario y estante de zona de engorde



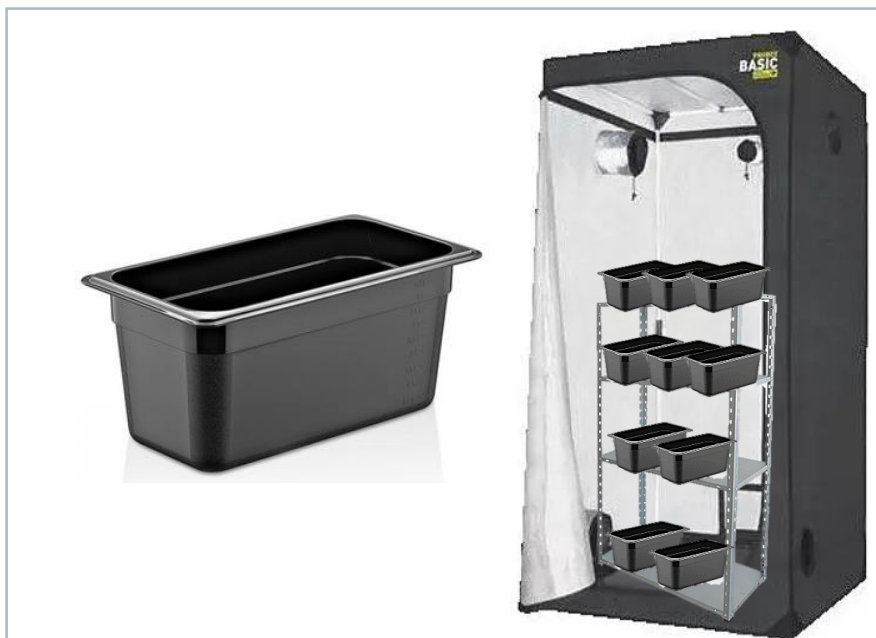
- **Zona de engorde:** trampas. Se utilizará un contenedor dentro de otro, donde el interno (color negro) tendrá una pequeña rampa para el escape de las prepupas y el externo tendrá una altura mayor para evitar el escape (figura 24). El contenedor interno es el recipiente de engorde para las larvas que mantendrán la colonia.

Figura 24. Contenedor interno con rampa (imagen ampliada) y trampa completa armada



- **Puparios:** se utilizarán contenedores oscuros para depositar las pupas, que se guardarán hasta que emerja la mosca, por 10 días, dentro de una carpa donde no llegue luz (figura 25).

Figura 25. Pupario y carpa para puparios con estante



Además, se consideran ventiladores, calefactores, humidificadores, etc. Así como 2 container marítimos/ de bodega como infraestructura.

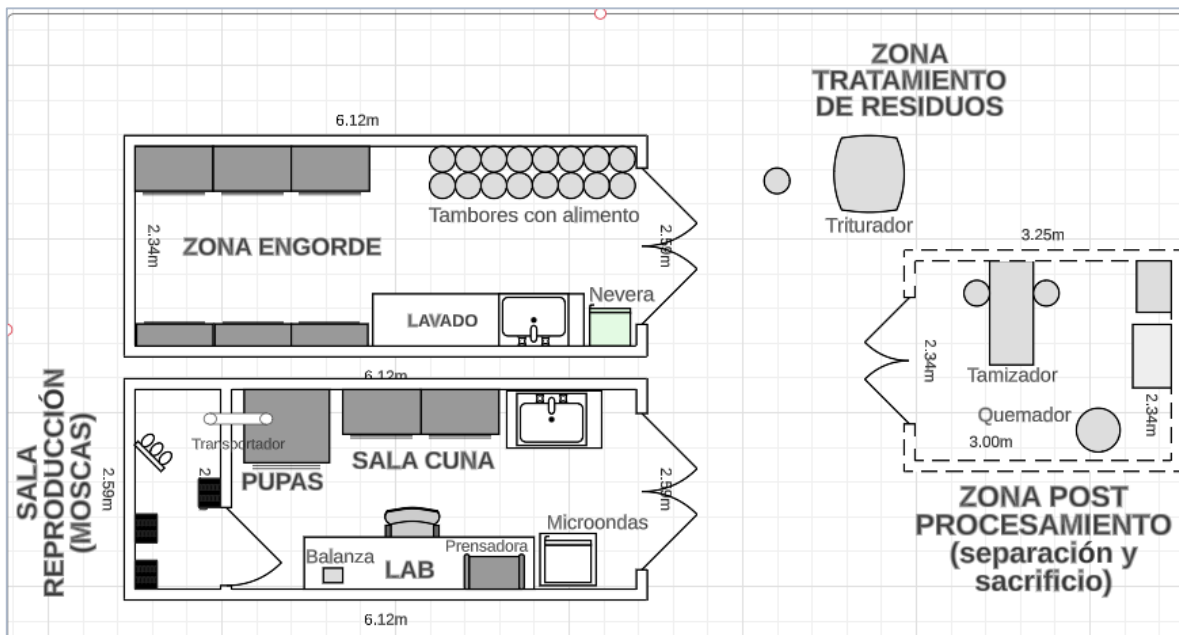
- d) Evaluar costos de piloto experimental:** en la figura 26 se resumen los costos del piloto, considerando 6 meses de experimentación. Ver detalle de costos en anexo 10

Figura 26. Costos piloto experimental

Costos Piloto (CLP)	
Costo inicial	\$ 20.415.213
Costos variables por mes	\$ 318.588
Costos fijos por mes	\$ 2.500.000

e) Diseñar layout Piloto experimental

Figura 27: Layout planta piloto experimental



f) Construcción del piloto

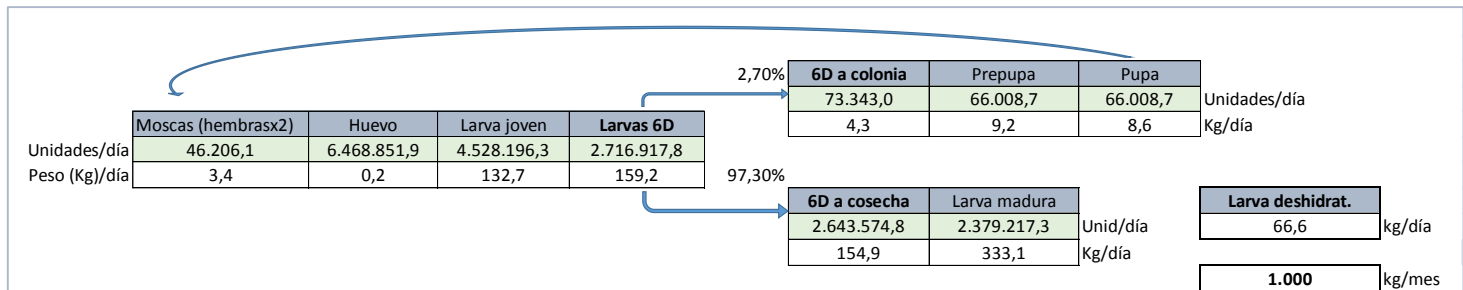
- g) Realizar experimentos hasta lograr el objetivo de producir 0,3 kg larvas deshidratadas/día. Deben medirse resultados e identificar oportunidades de mejora para alcanzar la producción deseada si es que no se logra inicialmente.

2. **Evaluar económicamente el modelo industrial de producción de larvas deshidratadas de MSN (a escala real deseable de producción)** para conocer su rentabilidad, basándose en la solución seleccionada. Si es rentable, configuraría un argumento a favor de invertir en el piloto experimental.

a) Diseñar proceso: modelamiento y layout

El proceso en este caso sigue la lógica del proceso mostrado en la figura 6 y 7, donde se requieren más trabajadores para producir, a diferencia del piloto que se tuvo que determinar un orden especial en las actividades para que una persona pudiera llevar todo a cabo. En la figura 28 se muestra el flujo de los kg de insecto, pensando en un proyecto a 15 años donde inicialmente se producirá 1 toneladas de larvas deshidratadas por mes, en estado estacionario. Mientras que en la figura 29 se presente el layout para producir 1 tonelada mensual.

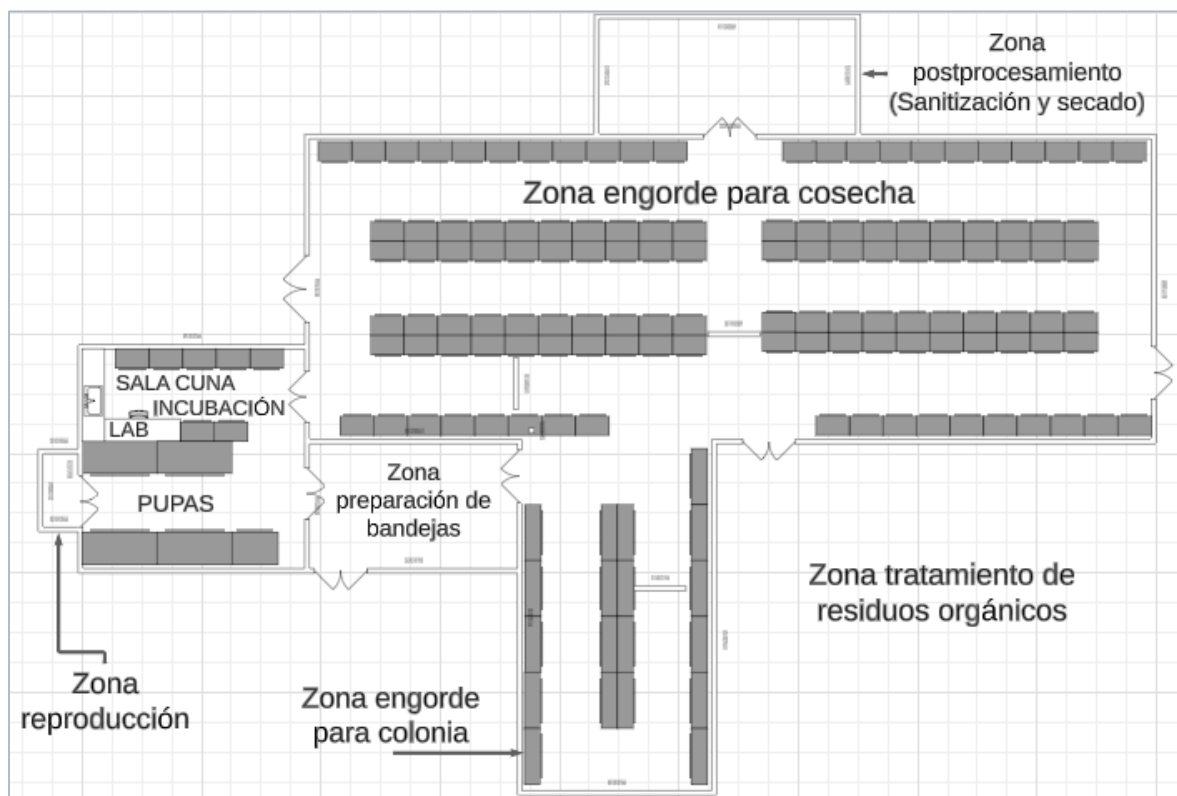
Figura 28. Flujo de kg de insecto para obtener 1 tonelada de larvas deshidratadas/mes



Elaboración propia en base a parámetros supuestos fijados acorde a la literatura.

Este flujo ocupa los mismos parámetros supuestos en base a la literatura que se usaron para el caso del piloto experimental, pero la idea es que con el piloto se obtengan parámetros más precisos para aplicarlos a esta escala comercial.

Figura 29. Layout planta a escala comercial para producir 1 tonelada mensual de larvas deshidratadas



b) Determinar costos y beneficios: construir flujo de caja y evaluar VAN, TIR y payback

En la figura 30, se presenta el resumen flujo de caja evaluado a 15 años, para producir los 3 primeros años, 1 tonelada de larvas deshidratadas al mes, y desde el año 4 al año 15, 3 toneladas de larvas deshidratadas mensualmente.

Figura 30. Resultados flujo de caja a escala comercial

Tasa de dcto	10,3%
Inversión Inicial	-\$ 178.030.273,187
VA Flujo	\$ 528.813.067,500
VAN	\$ 350.782.794,313
TIR	24%
Payback (años)	5,8

Con lo anterior desarrollado, se elaborará y presentar la propuesta del proyecto a la empresa interesada asociada (Dos Marías), y si se llega a un acuerdo de inversión, se comenzaría a implementar la construcción de la planta piloto experimental.

VIII. Desarrollo e implementación del proyecto

En base a la metodología, se resume lo que se ha avanzado y lo que está pendiente de implementación:

Avances relacionados a planta piloto experimental

Pasos metodología	Estado
a) Definir objetivo de planta piloto	Terminado
b) Diseñar proceso: modelamiento	Terminado
c) Determinar métodos y tecnologías a usar en cada etapa	Terminado
d) Evaluar costos de piloto experimental	Terminado
e) Diseñar layout de piloto experimental	Terminado
f) Construcción piloto	Pendiente
g) Realizar experimentos	Pendiente

El inicio de la construcción del piloto dependerá del resultado de la reunión con los inversionistas. Si se acepta el proyecto, se propone la siguiente planificación (figura 31):

Figura 31. Planificación de pendientes

Tareas	Duración (días)	Inicio	Final
1 Reunión con empresa Dos Marías y respuesta sobre inversión	5	11-12-2023	15-12-2023
2 Comprar los insumos para construir piloto	14	18-12-2023	04-01-2024
3 Cotizar servicios de instalación de calefactores y servicio de agua	3	05-01-2024	09-01-2024
4 Construir piloto	20	10-01-2024	06-02-2024
5 Contratar servicios de instalaciones y coordinar fechas de reunión en planta	3	07-02-2024	09-02-2024
6 Realizar experimentos (6 meses)	180	12-02-2024	18-10-2024

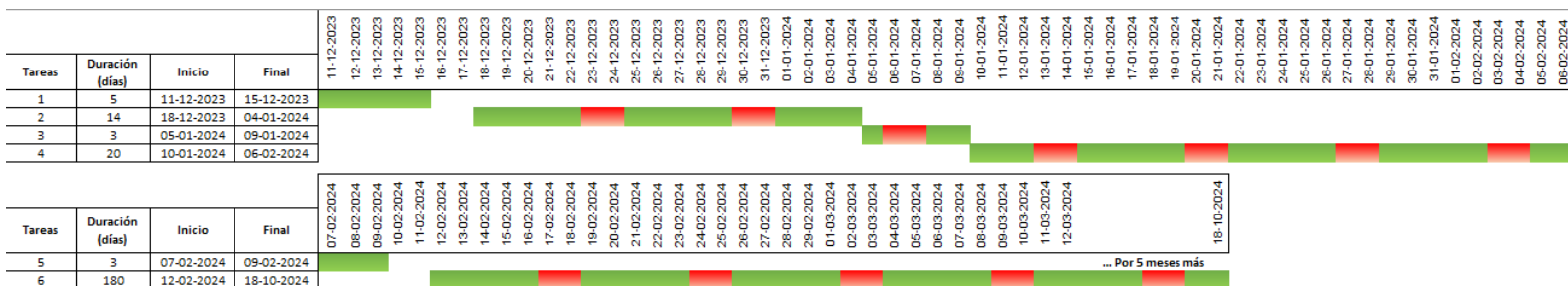
En cuanto a la planificación de los 6 meses de experimentación, se propone la figura 32

Figura 32. Planificación de experimentos en planta piloto

CONTINUO															
	Mes 1		Mes 2		Mes 3			Mes 4				Mes 5			Mes 6
Experimento (cosechas)	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12-24	25-55
Parámetros	Valor														
T sala reproducción (mosca) °C	25	25	27	25	23	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
T incubación °C	25	25	27/25/23	27/25/23	27/25/23	27	27	27	-	-	27	27	27	27	27
T sala cuna °C	25	25	25	25	25	25	27	23	-	-	25	25	25	25	25
T incubación+sala cuna °C	25	25	-	-	-	-	-	-	prom	prom	no ap	no ap	no ap	no ap	?
T pupas °C	25	25	25	25	25	25	27	23	-	-	25	25	25	25	25
T zona engorde	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	23	25	20	20
Humedad moscas %	50	50	50	50	50	65	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Humedad sala cuna %	60	60	60	60	60	60	60	60	-	-	60	60	60	60	60
Humedad incubación %	60	60	60	60	60	50/60/70	60	60	-	-	60	60	60	60	60
Humedad incubación+sala cuna %	60	60	-	-	-	-	-	-	prom	prom	-	-	-	-	-
Densidad larvas 6D (lar/cm2)	5	5	3/5/5,5	3/5/5,5	3/5/5,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Dieta 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Dieta 2	x	x													
Dieta 3	x	x													
Atractante 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Atractante 2	x	x											x	x	

En esta figura se observan en cuadros negros con letras blancas, los parámetros que serán cambiados en el respectivo número de experimento. Con esta planificación, se pueden experimentar las distintas temperaturas, humedades, densidades, dietas y atractantes sugeridos en el estado del arte, para cada estado del insecto.

Finalmente, la Carta Gantt (en referencia a las tareas de la figura 31):



IX. Resultados

Por ahora los resultados se visualizan en la parte de diseño del proceso y las evaluaciones teóricas. No se ha implementado el piloto por lo que no se han podido experimentar parámetros ambientales que permitan obtener la productividad objetivo. Sin embargo, teóricamente se han encontrado en la literatura algunas relaciones estadísticas que determinan aproximadamente las temperaturas requeridas para que el ciclo de producción no exceda los 50 días, lo que es clave para producir a nivel industrial. En base a este estudio, se ha determinado las temperaturas adecuadas para cada etapa, y las tasas de éxito estimadas en dichas condiciones térmicas (tabla 5).

Tabla 5. Temperaturas estimadas y tasas de éxito (eclosión y sobrevivencia) en base a literatura

Etapa ciclo	Temperatura	Tasa de éxito	
Eclosión de huevos	32°C	Eclosión	78%
Cría de larva	30,6°C	Sobrevivencia	90%
Prepupas	30,9°C	Sobrevivencia	82%
Pupas	23°C	Sobrevivencia (o de emergencia de mosca)	69%

(Ver en anexo 12 relaciones estadísticas y regresiones utilizadas a partir de estudio)

Considerando que con una densidad de 5 larvas/cm², en una bandeja estándar de 60x40 cm, se inocularían 12.000 larvas de 6 días de edad. De estas se consideraría que vivan 90% hasta ser larvas maduras, lo que corresponde a 10.800 larvas maduras. Si estas pesan 0,14 gramos cada una, se producirían 1.512 gramos de larvas frescas maduras por bandeja, y al deshidrarlas (pérdida del 80% del peso), se obtendrían 302 gramos de larva deshidratada por bandeja, lo que equivale a 0,126 gramos de larvas deshidratadas por cm², lo que coincide con el objetivo del proyecto, que se estableció en base a los datos de la literatura.

Esto es solo un acercamiento para entender en qué temperaturas se mueven los rangos ideales, sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, los datos de experimentos a menores escalas pueden diferir completamente de los obtenidos a escala comercial, por lo que una vez que se implemente el piloto y se recolecten los datos prácticos, se pueden volver a establecer las relaciones estadísticas para elaborar un método predictivo más preciso y realista con la producción a escala comercial.

X. Conclusiones y discusión

El proyecto a gran escala tiene VAN de 351 millones de pesos aproximadamente, evaluado en 15 años. Es decir, es rentable, donde se percibiría en promedio, un flujo anual de \$23.385.519, equivalente a dividir los 351 millones en 15 años. Luego la TIR=24% es mayor a la tasa de descuento (10,3%), por lo que este indicador confirma que el proyecto a escala comercial podría ser rentable, y la inversión se recuperaría a los 6 años aproximadamente. Se estima un margen neto de aproximadamente 36,4% después del cuarto año. Cabe mencionar que esto es posible si junto a las larvas también se vende el subproducto generado, que es el frass, ya que este aporta 2/3 de los ingresos por ventas, mientras que las larvas deshidratadas un 1/3.

Esto indica que se puede justificar la implementación de un piloto, que permita mejorar los parámetros utilizados actualmente como supuestos (basados en literatura e información levantada en este proyecto). Con ello, la rentabilidad a escala comercial tiene potencial a ser mejorada.

Se han planificado varios experimentos para realizar en el piloto, para determinar con más precisión los parámetros de temperatura, humedad, densidad, dieta, y efectividad del atractante, que permitan una crianza de MSN exitosa, no solo contemplando que se obtenga la máxima productividad, sino que sea equilibrado con la eficiencia en costos, ya que esta es la desventaja principal de quienes entran al mercado, y no tienen acceso a información sobre las mejores tecnologías a nivel industrial que se podrían ocupar. En general, en la literatura hay muchos experimentos a nivel de laboratorio, o de producciones en granjas tropicales, donde los parámetros se mantienen adecuados para la mosca por sí solos. En cambio, en Chile, como también en Europa, Estados Unidos, y otros países de Latinoamérica que no tienen clima tropical constante con baja

nubosidad, es imprescindible crear el ambiente artificialmente, lo que puede tener un elevado costo energético si no se hace de forma adecuada.

Es importante destacar, que se debe estar consciente de que existen probablemente formas mucho mejores de producir esta proteína, por lo que es importante estar constantemente investigando e identificando oportunidades de mejora, ya que es una industria tan nueva que en el presente están constantemente saliendo nuevas publicaciones que vislumbran poco a poco cómo mejorar el proceso productivo de la proteína a partir de MSN.

No se alcanzó a implementar el piloto, debido a que el tiempo era muy limitado y tanto el diseño como la evaluación económica requirieron más tiempo del estimado, porque una vez terminado el flujo de caja y al analizar los números, estos vislumbraban errores en la planilla que se debían corregir, así como evidenció costos excesivos, lo que hacía retroceder para volver a buscar otra alternativa que disminuyera estos costos. Por ejemplo, si se requerían demasiados trabajadores, se conversaba con la empresa la decisión de invertir en alguna tecnología para semi-automatizar algunas tareas y disminuir el requerimiento de horas hombre, lo que hacía disminuir los costos asociados a las remuneraciones. También sucedió que el costo de electricidad en la sala de engorde era muy alto, por lo que se trabajó en hacer el layout lo más compacto posible, sin dificultar el desplazamiento de los trabajadores con traspaleas con pallets. Y así constantemente se fue rediseñando algunos ítems para disminuir costos que parecían ser muy altos. Finalmente, al haber cosas que requerían conocimientos de especialistas, se dependía de respuestas de personas externas a las que se les consultó, requirió asesoramiento o simplemente cotizó, pero las respuestas no eran expeditas. Sin embargo, se utilizaron regresiones lineales para estimar algunos parámetros de producción en base a datos de la literatura, sabiendo de antemano que pueden no ser muy precisos, pero es un punto de partida para comenzar a experimentar.

El valor para la empresa (SM Consulting) es que ahora conoce el proceso y sabe que es rentable, lo que le da herramientas para negociar la inversión compartida con la empresa asociada (Dos Marías)

El aporte real del estudiante fue descubrir el proceso y evaluar su implementación tanto económica como técnicamente.

XI. Referencias

1. Ahmad, Irfana Kabir, Ng Teck Peng, Nur Fardilla Amrul, Noor Ezlin Ahmad Basri, Nurul Ain Abdul Jalil, and Nur Asyiqin Azman. 2023. "Potential Application of Black Soldier Fly Larva Bins in Treating Food Waste" *Insects* 14, no. 5: 434. <https://doi.org/10.3390/insects14050434>
2. CGIAR&WLE. (2020). Global Experiences on Waste Processing with Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*): From Technology to Business. Resource recovery & reuse. Obtenido de http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource_recovery_and_reuse-series_16.pdf
3. Meticulous Research. (2022). Black Soldier Fly Market by Product (Protein Meals, Whole Dried Larvae, Biofertilizers {Frass}, Larvae Oil, Others {Cocoons, Pupa}), by Application (Animal Feed, Agriculture, Pet Food, Others), and Geography - Global Forecast to 2033. Obtenido de <https://www.meticulousresearch.com/product/black-soldier-fly-market-5074#description>
4. OCDE&FAO. (2021). Perspectivas Agrícolas 2021-2030. doi:<https://doi.org/10.1787/47a9fa44-es>
5. ODEPA . (2022). Plan de contingencia alimentaria. Gobierno de Chile, Comisión nacional de seguridad y soberanía alimentaria. Obtenido de <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71790/InformeContingenciaAlimentaria20220825.pdf>
6. ONU. (2023). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf?_gl=1*15zi1af*_ga*NjUzNzE3MTQyLiE3MDEwMjA5Mjg.*_ga_TK9BQL5X7Z*MTcwMTk5MTkzMjA0LjEuMTcwMTk5MjM2OS4wLjAuMA..
7. Tzachor, A., Richards, C., & Holt, L. (2021). Future foods for risk-resilient diets. *Nature Food*. doi:<https://doi-org.uai.idm.oclc.org/10.1038/s43016-021-00269-x>
8. D.G.A.B. Oonincx, N. Volk, J.J.E. Diehl, J.J.A. van Loon, G. Belušič,
9. Photoreceptor spectral sensitivity of the compound eyes of black soldier fly (*Hermetia illucens*) informing the design of LED-based illumination to enhance indoor reproduction, *Journal of Insect Physiology*, Volume 95, 2016, Pages 133-139, ISSN 0022-1910, <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2016.10.006>.
10. Dörper, A., Veldkamp, T., & Dicke, M. (2021). Use of black soldier fly and house fly in feed to promote sustainable poultry production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 761-780. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0064>

11. Joly, G.; Nikiema, Josiane. 2019. Global experiences on waste processing with black soldier fly (*Hermetia illucens*): from technology to business. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE).. 62p. (Resource Recovery and Reuse Series 16) doi: 10.5337/2019.214
12. Julita, U., L.L. Fitri, R.E. Putra and A.D. Permana, 2020. Mating success and reproductive behavior of black soldier fly *Hermetia illucens* L. (Diptera,Stratiomyidae) in Tropics. J. Entomol., 17: 117-127 DOI:10.3923/je.2020.117.1271.
13. Kannan Mohan, Durairaj Karthick Rajan, Thirunavukkarasu Muralisankar, Abirami Ramu Ganesan, Palanivel Sathishkumar, Nagarajan Revathi, Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs, Aquaculture, Volume 553, 2022, 738095, ISSN 0044-8486, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738095>.
14. Moritz Gold, Cecille Marie Cassar, Christian Zurbrügg, Michael Kreuzer, Samy Boulos, Stefan Diener, Alexander Mathys,Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates, Waste Management, Volume 102, 2020, Pages 319-329, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.036>.
15. Parra Paz, A.S., Carrejo, N.S. & Gómez Rodríguez, C.H. Effects of Larval Density and Feeding Rates on the Bioconversion of Vegetable Waste Using Black Soldier Fly Larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). Waste Biomass Valor 6, 1059–1065 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9418-8>
16. Rehman K ur, Hollah C, Wiesotzki K, et al. Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini-review. Waste Management & Research. 2023;41(1):81-97. doi:10.1177/0734242X221105441
17. Ribeiro, Nuno, Rui Costa, and Olga M. C. C. Ameixa. 2022. "The Influence of Non-Optimal Rearing Conditions and Substrates on the Performance of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)" Insects 13, no. 7: 639. <https://doi.org/10.3390/insects13070639>
18. Shahida Anusha Siddiqui, Bridget Ristow, Teguh Rahayu, Nugroho Susetya Putra, Nasih Widya Yuwono, Khoirun Nisa', Bosco Mategeko, Sergiy Smetana, Morteza Saki, Asad Nawaz, Andrey Nagdalian, Black soldier fly larvae (BSFL) and their affinity for organic waste processing, Waste Management, Volume 140, 2022, Pages 1-13, ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.044>.

19. Wang, Yu-Shiang, and Matan Shelomi. 2017. "Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food" *Foods* 6, no. 10: 91. <https://doi.org/10.3390/foods6100091>

XII. Anexos

Anexo 1. Glosario de conceptos y abreviaciones utilizadas, referentes al ciclo de vida de la MSN y su producción.

- MSN: Mosca soldado negra
- Eggie: nido donde las moscas depositarán sus huevos; hay de distintos tipos (madera, cartón y plástico).
- Atractante: contenedor con mezcla de materia en descomposición, olorosa, que sirve para atraer a las moscas a poner huevos en sus cercanías (cerca del attractante se ubican los eggies)
- Eclosión: acción de nacer de la larva, tras romper el huevo que la contiene.
- Incubación: mantención de los huevos de la mosca soldado negra en un ambiente favorable para que eclosionen. Pueden pasar 4 días hasta que eclosionen los huevos.
- Bandeja de incubación (o incubadora): bandeja plástica que contiene un sustrato especial para larvas neonatas (recién nacidas). Los eggies se depositan sobre la bandeja (sin estar en contacto directo con el sustrato especial), de tal forma que cuando los huevos eclosionan, la larva recién nacida cae al sustrato. Es la bandeja que recibirá a las larvas recién nacidas.
- Lluvia de larvas: se refiere a la caída de las larvas recién nacidas desde los eggies, una vez que eclosionan los huevos, al sustrato especial que contiene la bandeja de incubación.
- Neonatas: larvas recién nacidas
- Larva joven: larva desde que nace hasta su sexto día de vida. Es la larva que se encuentra en la zona que se llamará "sala cuna".
- Larva 6D/s: larva con 6 días de edad que se obtiene al termino del periodo en sala cuna. D=días; s=sala cuna
- Larva 10D/e: una vez que la larva 6D/s de sala cuna se transfiere a la zona de engorde donde será alimentada, se reinicia la numeración en función de cuántos días lleva en esta nueva

fase de engorde. Así, una larva 6Ds de sala cuna, es equivalente a una larva 1D de engorde. Por lo tanto, una larva 10D/e es una larva que lleva 10 días en la fase de engordamiento.

- Larvario o bandeja de engorde: el contenedor (bandeja) con alimento para larvas en el cual se inoculan las larvas 6Ds, que se alimentarán desafortunadamente durante 10 días aproximadamente. Cuando se hable de larvario o bandeja de engorde, se referirá al lugar donde se engordan las larvas cuyo destino es ser cosechadas y sacrificadas para obtener la proteína.
- Prepupa: estado larvario que se visibiliza aproximadamente en el día 12D/e. La larva en engorde comienza a transformarse en prepupa cuando deja de alimentarse, y desarrolla un gancho en su cuerpo, que le permite adquirir más capacidad para moverse. Otra observación es que su color se torna de beige a marrón.
- Pupación: proceso en el que la prepupa ha encontrado un espacio donde puede permitirse detener su movilidad, y así comenzar su proceso de metamorfosis para transformarse en mosca. Es de color negro y permanece inmóvil.
- Autocosecha de pupas: cuando la larva de la MSN se convierte en prepupa, deja de alimentarse y comienza a escapar de su contenedor de engorde para buscar un lugar más seco y oscuro donde realizar su pupación. Se llama autocosecha, ya que ellas mismas cuando están listas para pupar, abandonan su lugar de alimentación.
- Trampa: está compuesta por dos contenedores, uno dentro de otro más grande. En el contenedor interior ocurre el proceso de engorde de la larva, y contiene una rampa, de tal forma que cuando la prepupa quiera escapar, suba por la rampa y salga del contenedor interior, cayendo dentro del otro contenedor, que tiene sustrato apto para la pupación y evita que la prepupa siga escapando. Cuando se hable de trampa, se referirá al lugar donde se engordan larvas cuyo destino es transformarse en moscas nuevamente para mantener la colonia constante.
- Pupario: contenedor donde se pondrán las pupas que se obtuvieron de la trampa. Se guardan en una carpa oscura por 10 días aproximadamente, hasta que se produce la emergencia de la mosca.

Anexo 2. Rangos de parámetros óptimos y sugerencias en la literatura.

Estado en ciclo	Temperatura	Humedad	Luz	Dieta	Otro	Diseño operacional sugerido	Referencias
Huevos	Temperatura constante 27°C	>60%	Ambiente oscuro con 0-50% de exposición diaria a luz	Ninguna	-	Huevos incubados en contenedor cubierto y ubicado sobre fuente de alimento para larvas neonatas	Sheppard et al. 2002; Zhang et al. 2010; Diener et al. 2011; Alvarez 2012; Holmes et al. 2012,2017 Mutafela 2015
Larva joven (4-6 días de edad)	Temperatura constante 24-33°C	Relativamente constante	Ambiente oscuro	Dieta especial con alimento de pollo o conejo + salvado. Con suficiente estructura	-	Mantener larvas jóvenes por 4-6 días después de la eclosión, en contenedor de incubación	Sheppard et al. 2002; Diener et al. 2011; Caruso et al. 2013; Dortmans et al. 2017; Yang 2017
Larva	24-33°C	La literatura se enfoca en la humedad de la dieta	Ambiente oscuro	Dieta bien definida o residuos orgánicos a tratar	-	Larva alimentada con una dieta bien definida hasta que alcancen la etapa de prepupa o se usan para tratamiento de residuos	Sheppard et al. 2002; Tomberlin et al. 2002; Alvarez 2012; Caruso et al. 2013; Harnden&Tomberlin 2016; Dortmans et al. 2017
Prepupa/pupa	24-33°C	60-70%	Ambiente oscuro con 0-50% de exposición diaria a luz	Ninguna	Medio de pupación (aserrín, fibra de coco, compost). con humedad de 50-85% y profundidad 15-20 cm.	La prepupa se recolecta en un contenedor con un material seco y que absorba agua, conectado al contenedor con el alimento, a través de una rampa con inclinación 28-45°C o ubicar el contenedor con alimento directamente dentro del contenedor de recolección	Newton et al. 2005; Diener et al. 2011; Alvarez 2012; Caruso et al. 2013; Banks 2014; Mutafela 2015; Lin 2016; Nakamura et al. 2016; Dortmans et al. 2017; Holmes et al. 2017.
Adulto (mosca)	25-32°C	>60%	Luz solar de mañana	Ninguna, pero se recomienda proveer agua y azúcar	Suficiente espacio para aparearse en vuelo. Alta densidad de moscas. Plantas para favorecer cortejo/apareamiento.	Invernadero o jaula con malla (desde 0,27x0,27x0,27 m) a 3x3x6 m). Medios de ovoposición con cavidades, hechos de cartón o madera y ubicados cerca de materia orgánica con suficiente olor fuerte.	Booth & Sheppard 1984; Holmes et al. 2012; Sheppard et al. 2002; Tomberlin and Sheppard 2002; Zhang et al. 2010; Diener et al. 2011; Alvarez 2012; Caruso et al. 2013; Mutafela 2015; Nakamura et al 2016; Dortmans et al. 2017.

Obtenido y traducido desde “Global experiences on waste processing with black soldier fly (*Hermetia illucens*)”: from technology to business” (CGIAR&WLE, 2020)

Anexo 3. Productos que utilizan larvas de mosca soldado negra en su materia prima en Chile

Tipo de Producto	Producto	Cantidad (gramos)	Precio CLP	Marca	Productor
Snack	Larvas de mosca soldado negra	30	\$ 2.490	Naturale for pets	Naturale for pets / zoodiet
Snack	Mix larva mosca soldado negra	30	\$ 2.290	Naturale for pets	Naturale for pets / zoodiet
Snack	Larvas deshidratadas - complemento premium para perros, gatos, erizos, peces, reptiles y hurones	50	\$2.700 - \$3.990	Bug me	Bug me
Snack	Suplemento alimenticio para perros a base de insectos BODY. Mezcla de insectos, bananas y semillas de chía. Para perros de todas las edades.	500	\$ 9.990	Bug me	Bug me
Snack	Suplemento para Gatos BALANCE	120	\$ 3.890	Bug me	Bug me
Snack	Suplemento para Animales exóticos SOUL	50	\$ 2.990	Bug me	Bug me
Compost	F4Frass 2 kg	2000	\$ 3.000	F4F	F4F
Compost	F4Frass 20 Kg (50 L), Biofertilizante Natural de larvas de Mosca Soldado Negro	20000	\$ 9.990	F4F	F4F
Snack	Larvas deshidratadas. Uso en aves, peces, erizos y reptiles	100	\$ 3.900	F4F	F4F
Snack	Larvas deshidratadas. Uso en aves, peces, erizos y reptiles	1000	\$ 11.790	F4F	F4F
Snack	Larvas deshidratadas.	350	\$ 6.490	Agroalimentos Nacionales	Agroalimentos Nacionales
Snack	Larvas deshidratadas.	1000	\$ 10.000	Agroalimentos Nacionales	Agroalimentos Nacionales
Larva Viva	Prepupas Mosca Soldado (Hermétia Illucens) Alimento Vivo. Cepa F74Fly domesticada de alta producción.	80 prepupas de mosca soldado	\$ 59.990	BIOTECHSTORE	Biotechstore

Anexo 4. Cálculo y estandarización de productividad de larvas deshidratadas de distintos estudios de la literatura.

Conversión	inche	cm		
	1	2,54		
Paper 1	Largo	Ancho	Altura	
	56	40	13	[cm]
Paper 2	Largo	Ancho	Altura	
	30,48	21,59	7,62	[cm]
Bandeja estandar	Largo	Ancho	Altura	
	60	40	12	[cm]

	Experimento	Área [cm ²]	Peso final de la larva madura o de la prepupa [g]	Cantidad de larvas maduras o prepupas obtenidas [unidades]	Productividad larva fresca [g/ciclo]	Productividad larva fresca estandarizada [g/ciclo/cm ²]	Productividad larva deshidratada estandarizada [g/ciclo/cm ²]
Experimento 1 (masa 0,14 g)	Exp. 1	2240,00	0,14	5000,00	700,00	0,31	0,06
Experimento 2 (masa 0,18 g)	Exp. 2	2240,00	0,18	5000,00	900,00	0,40	0,08
Experimento 3 (dato productividad dado)	Exp. 3	658,06	-	-	219,00	0,33	0,07
Teórico 1 (densidad: 1,2 larvas/cm ²)	Exp.4	2400,00	0,14	2880,00	403,20	0,17	0,03
Teórico 2 (densidad: 5 larvas/cm ²)	Exp. 5	2400,00	0,14	12000,00	1680,00	0,70	0,14
	Objetivo						0,126

Anexo 5. Cálculo de productividad objetivo

- Obtención de peso total (kg) de larva madura (LM) por cm²

$$LM[kg] = 5 \left[\frac{\text{larvas } 6D}{cm^2} \right] \cdot \text{tasa supervivencia larva madura} \cdot \text{peso LM[kg]}$$

$$LM[kg] = 5 \left[\frac{\text{larvas } 6D}{cm^2} \right] \cdot 90\% \cdot 0,00014 [kg]$$

$$LM[kg] = 0,00063 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \quad (\text{Ec.1})$$

- Luego, la larva al ser deshidratada pierde 80% de peso, por lo que:

$$\text{Peso larvas deshidratada[kg]} = LM[kg] \cdot 20\% \quad (\text{Ec.2})$$

- Reemplazando Ec.1 en Ec.2, se obtiene:

$$\text{Peso larvas deshidratada[kg]} = 0,00063 \left[\frac{kg}{cm^2} \right] \cdot 20\%$$

$$\text{Peso larvas deshidratada[kg]} = 0,000126 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

- Considerando estado estacionario donde se cosecha diariamente:

$$\frac{\text{Peso larvas deshidratada[kg]}}{\text{día}} = \frac{0,000126 [kg/cm^2]}{\text{día}} = \frac{0,126 [g/cm^2]}{\text{día}}$$

Anexo 6. Explicación relación de variables para causas raíces de la variabilidad en la productividad.

¿Por qué varía la productividad?

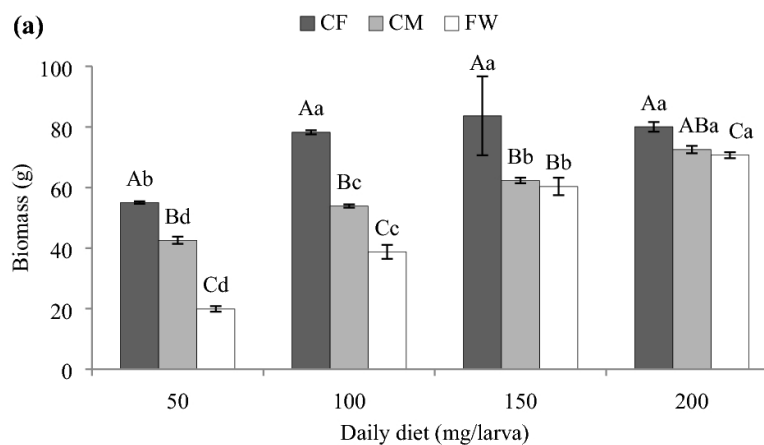
1. Porque **la temperatura** afecta la sobrevivencia de los distintos estadios de la mosca soldado negra. En la tabla se observan porcentajes de sobrevivencia (promedio \pm SE) de los estadios inmaduros de la mosca soldado negra a temperaturas constantes.

Temperature (°C)	Egg	Larva		Pre-pupa		Pupa	
		D1	D2	D1	D2	D1	D2
10	-	-	-	-	-	-	-
15	10.6 \pm 2.1c	82.8 \pm 8.8aA	87.0 \pm 3.5aA	58.7 \pm 1.3bA	65.3 \pm 6.4abA	49.3 \pm 7.1bA	62.0 \pm 3.1bA
20	59 \pm 10.6b	74.6 \pm 5.7aA	82.4 \pm 5.4aA	68.4 \pm 5.2abA	61.0 \pm 2.7abA	61.6 \pm 4.5abA	59.4 \pm 1.9bcA
25	59.8 \pm 8.5b	93.0 \pm 1.4aB	58.0 \pm 5.0bA	83.1 \pm 2.9aB	54.4 \pm 5.0bA	67.4 \pm 4.0abB	46.3 \pm 2.5cA
30	80.0 \pm 5.6a	92.6 \pm 2.4aA	90.4 \pm 0.7aA	82.2 \pm 4.2aA	77.2 \pm 4.0aA	77.1 \pm 5.9aA	74.8 \pm 4.2aA
35	74.8 \pm 14.7a	90.8 \pm 1.7aA	92.2 \pm 3.5aA	75.2 \pm 3.1aA	79.0 \pm 4.5aA	65.6 \pm 3.3abA	54.1 \pm 5.9bcA
37	9.8 \pm 3.1c	89.4 \pm 6.3aA	84.0 \pm 1.5aA	24.1 \pm 3.0cB	63.6 \pm 6.8abA	5.4 \pm 1.0cB	19.6 \pm 2.4dA
40	9.4 \pm 2.1c	34 \pm 15.0bA	27.6 \pm 7.7cA	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-

D1 = diet 1, D2 = diet 2. For eggs, means within the same column followed by different lower-case letter are significantly different ($P < 0.05$, SNK Test). For the larval, pre-pupal and pupal stages, means within the same column followed by different lower-case letter are significantly different ($P < 0.05$, SNK Test) for D1 or D2. For the larval, pre-pupal and pupal stages, means within the same row for each life stage followed by the same upper-case letter are not significantly different ($P < 0.05$, T-test) for D1 or D2. (-) no survival was observed.

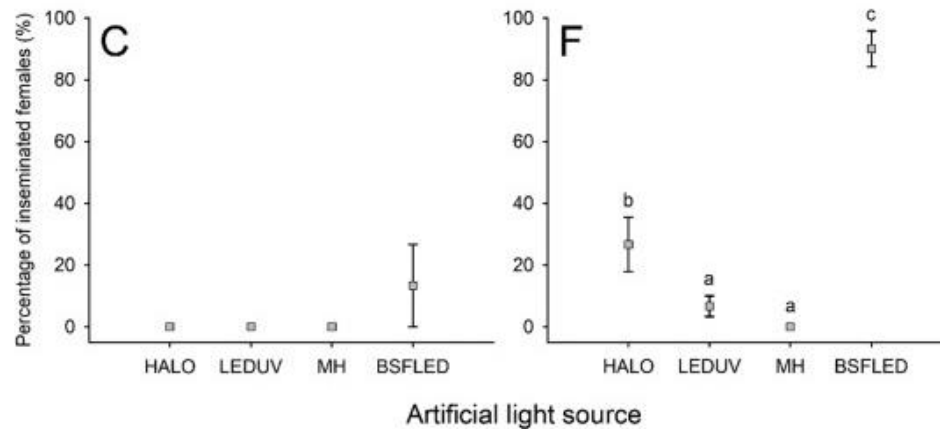
Obtenido de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097.t001>

2. Porque **la dieta** (tipo y cantidad) con la que se alimenta a la larva impacta su peso final (biomasa). En la figura a continuación se observa la biomasa de larva obtenida según distinto tipo de dieta y cantidad alimentada (CF: alimento para gallinas, CM: estiércol de gallinas, y FW: residuos de frutas).



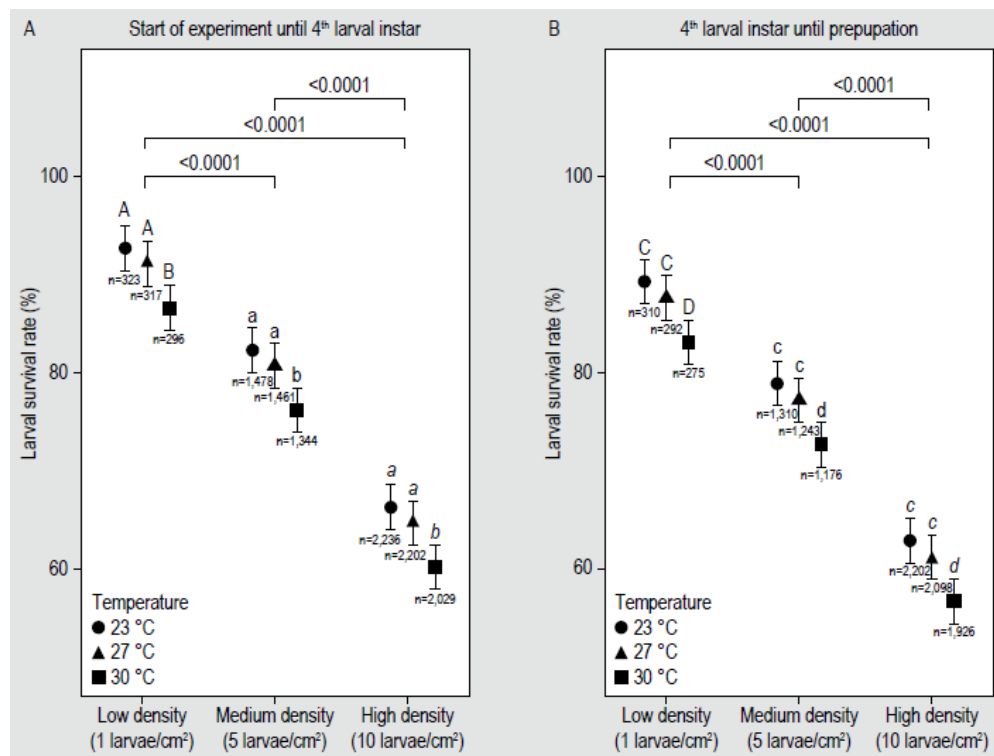
Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04039-5>

3. Porque la **iluminación** incide en el éxito de apareamiento de las moscas, y, por lo tanto, en la fertilidad. En la figura a continuación se observan los porcentajes de moscas hembras inseminadas según cuatro fuentes de luz artificial diferentes



Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2020.111815>

4. Porque la **densidad** de larvas en la superficie de crianza influye significativamente en la sobrevivencia. En la figura a continuación se observa el impacto de densidad poblacional de larvas en engorde y temperatura, sobre el porcentaje de sobrevivencia de larvas



Obtenido de <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0147>

5. Porque la **postura de huevos** depende del atractante utilizado. La literatura menciona que mientras más fuerte y desagradable sea el olor de este, más atractivo es para las hembras poner cerca sus huevos, y que de esta forma los eggies sean usados de forma más efectiva.

Anexo 7. Puntuaciones y resultados de evaluación de alternativas de solución con escala de Likert

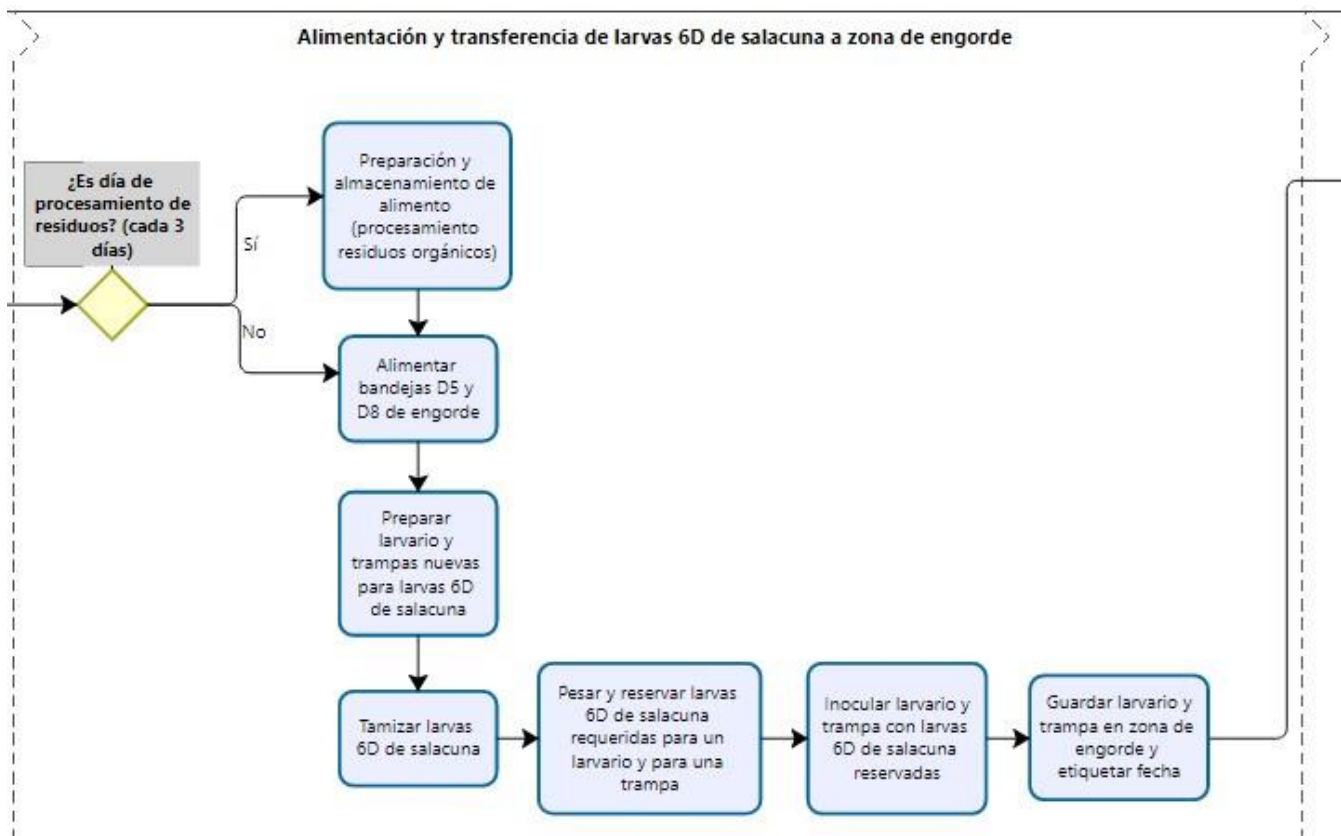
Criterio	Pond.	Alternativa de solución			
		A	B	C	D
1 Control condiciones ambientales	40%	2	1	5	5
2 Ahorro en costos energéticos	30%	5	4	2	1
3 Nivel de producción	15%	2	2	4	5
4 Ahorro de inversión en tecnología	10%	4	5	3	1
5 Ahorro en espacio	5%	3	1	4	5
Total	100%	3,15	2,45	3,7	3,4

Anexo 8. Proceso de producción de proteína de mosca soldado negra en escala comercial
(segmentado con ampliación para mayor visibilidad)

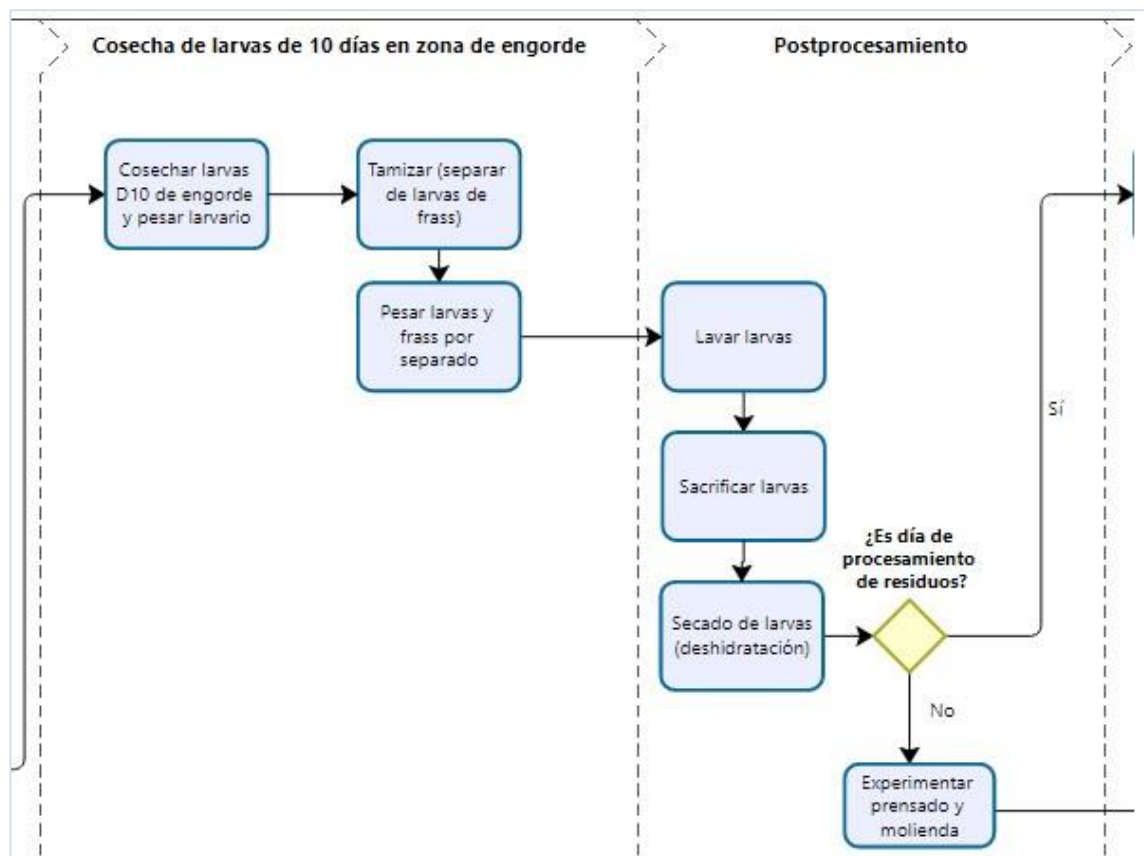
Fase 1 del proceso, Reproducción y cosecha de pupas



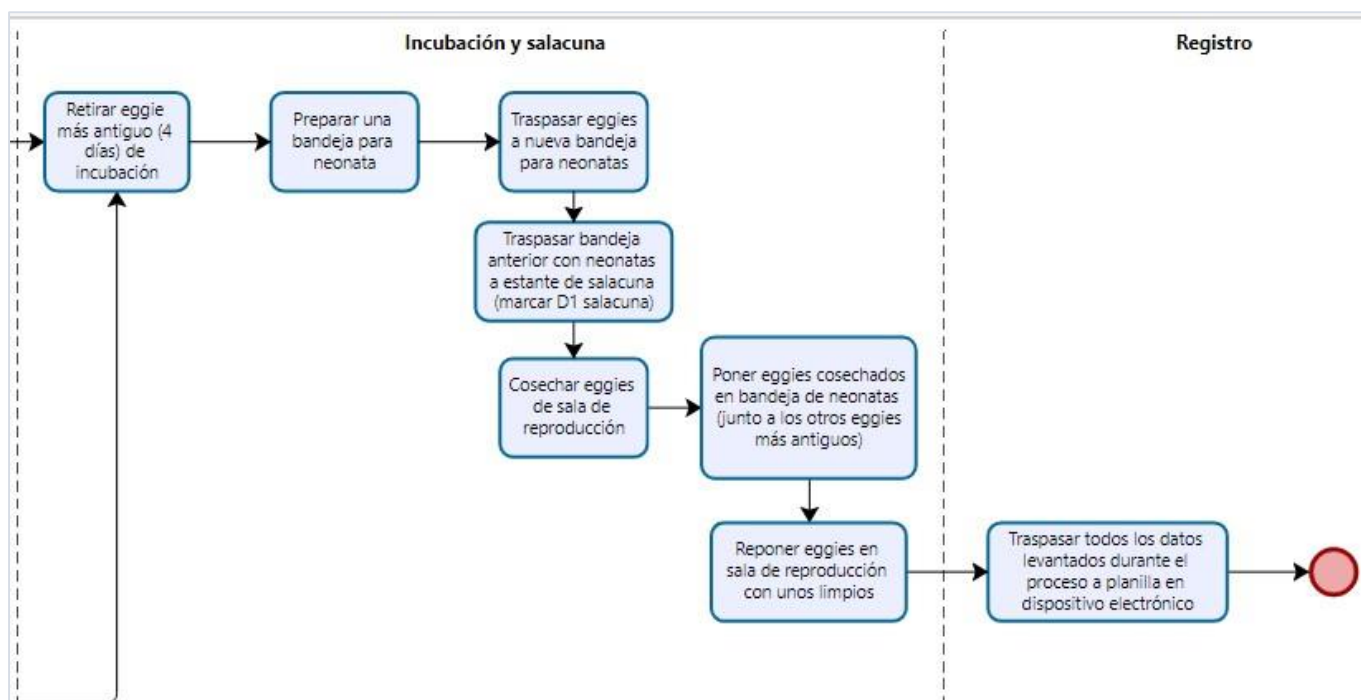
Fase 2 del proceso, Alimentación y transferencias de larvas de sala cuna a zona de engorde



Fase 3 y 4 del proceso: Cosecha de larvas 10D y post procesamiento



Fase 5 y 6 del proceso: Incubación y sala cuna, y Registro



Anexo 9. Duración de tareas del proceso de producción de proteína a partir de mosca soldado negra.

Tarea	9:00		10:00		11:00		12:00		13:00		14:00		15:00		16:00		17:00		18:00																					
	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5	5,25	5,5	5,75	6	6,25	6,5	6,75	7	7,3	7,5	7,8	8	8,3	8,5	8,8	9	9,3	9,5	9,8	10
Reproducción y pupas																																								
1 Acondicionamiento sala reproducción (limpieza e hidratación)																																								
2 Traspaso de moscas a sala de reproducción (conectar manga)																																								
3 Contar moscas muertas y registro																																								
4 Preparación de bandejas para pupas (echar aserrín)																																								
5 Cosechar prepupas/pupas desde trampas																																								
6 Traspasar pupas a bandejas para pupas y guardar en carpas + pesos y registros																																								
Engorde (alimentación) y transferencia de larvas 6D desde salacuna a sala de engorde																																								
7 Moler residuos orgánicos, preparar alimento y guardar 4 tambores (cada 3 días)																																								
8 Alimentar 2 bandejas correspondientes a día 5 y 8 de engorde con alimento de tambores																																								
9 Preparar bandeja de engorde para larvas 6D y preparar trampa (engorde) para larvas 6D. Reservar																																								
10 Tamizar larvas 6D																																								
11 Tomar 2 g muestra de homogenizado L6D y sustrato																																								
12 Contar larvas que hay en muestra para calcular en cuantos g habrán las L6D requeridas para larvarios y trampas																																								
13 Medir esos g y reservar en contenedores pequeños. Hacerlo para bandeja de engorde (larvarios) y para trampa																																								
14 Poner larvas 6D de contenedor pequeño en bandeja de engorde preparada y trampa (paso 9)																																								
15 Poner nueva bandeja de engorde en estante y registrar "día 1 alimentación". Lo mismo para la trampa																																								
Almuerzo																																								
Cosecha y Post procesamiento																																								
16 Cosechar larvas en día 10, pesar bandeja y tamizar (máquina).																																								
17 Pesar larvas y frass separados																																								
18 Sanitización y sacrificio																																								
19 Dejar escurrir																																								
20 Secar en microondas Y guardar																																								
Incubación y salacuna																																								
21 Sacar eggies que llevan 4 días en la bandeja de incubación (o incubadora), pesar y lavar (sin detergente)																																								
22 Preparar 1 bandejas para neonatas (alimento pollito+agua+fibra de coco)																																								
23 Poner eggie de día 3 en el espacio de día 4, pero en la nueva bandeja.																																								
24 Poner etiqueta de "D1 de sala cuna" a bandeja con neonatas recién liberada y poner en estante																																								
25 Posicionar los eggies que estaban en D1 y D2 un lugar hacia la derecha respecto a donde estaban en las antiguas bandejas (libera "D1 incubación")																																								
26 Ir a cosechar eggies de sala de reproducción, pensarlos y ponerlos en el espacio de D1 de incubación																																								
27 Ir a reponer eggies nuevos sin huevos limpios																																								
Registros																																								
28 A medida que hace las actividades, ir registrando toda la información obtenida de los pesajes y pasarlo a dispositivo electrónico ordenadamente																																								

Anexo 10. Costos piloto

Costo inicial

	Item	Cantidad	Valor+IVA	Total + iva	Total neto
Pretto. Residuos orgánicos	Balde 20 L	16	\$ 6.990	\$ 111.748	\$ 93.906
	Trituradora	1	\$ 520.000	\$ 520.000	\$ 436.975
	Pala acero	1	\$ 14.390	\$ 14.390	\$ 12.092
Zona de Reproducción	Container marítimo (usado)	1	\$ 1.785.000	\$ 1.785.000	\$ 1.500.000
	Despacho container	1			\$ 1.950.000
	Lámpara para moscas	1	\$ 310.810	\$ 310.810	\$ 261.185
	Despacho lámpara	1			\$ -
	Plantas artificiales	1	\$ 8.990	\$ 8.990	\$ 7.555
	Eggies (tablas de madera para eggies)	10	\$ 2.990	\$ 29.290	\$ 24.613
	Ventilador (Extractor)	1	\$ 70.213	\$ 70.213	\$ 59.003
	Calefactor (Inverter) 9000 BTU	1	\$ 459.990	\$ 459.990	\$ 386.546
	Humidificador	1	\$ 29.990	\$ 29.990	\$ 25.202
	Pack escobillón + pala	1	\$ 2.690	\$ 2.690	\$ 2.261
	Contenedor para atractante	4	\$ 3.990	\$ 15.960	\$ 13.412
Incubación+Salacuna+pupas	Pupas (80 por compra)	34	\$ 59.990	\$ 2.029.009	\$ 1.705.049
	Puparios	10	\$ 8.590	\$ 85.900	\$ 72.185
	Estante para puparios	1	\$ 24.990	\$ 24.990	\$ 21.000
	Carpa de pupas	1	\$ 111.200	\$ 111.200	\$ 93.445
	Estante para incubación+salacuna	1	\$ 79.900	\$ 79.900	\$ 67.143
	Bandejas incubación+salacuna	11	\$ 15.961	\$ 175.571	\$ 147.539
	Tamizador	1	\$ 102.227	\$ 102.227	\$ 85.905
	Incubadora de huevos	2	\$ 99.990	\$ 199.980	\$ 168.050
	Pocillo de muestreo pack6	1	\$ 3.490	\$ 3.490	\$ 2.933
	Balanza digital	1	\$ 256.971	\$ 256.971	\$ 215.942
	Pinzas	1	\$ 3.490	\$ 3.490	\$ 2.933
	Bandeja (para residuo tamizado)	1	\$ 15.961	\$ 15.961	\$ 13.413
	Cuchara	1	\$ 1.990	\$ 1.990	\$ 1.672
	Calefactor (Inverter) 9 mil BTU	1	\$ 459.990	\$ 459.990	\$ 386.546
	Ventilador (Extractor)	1	\$ 70.213	\$ 70.213	\$ 59.003
	Container marítimo (usado)	1	\$ 1.785.000	\$ 1.785.000	\$ 1.500.000
	Despacho container	1			\$ 1.950.000
Zona engorde	Estantes para engorde-cosecha	1	\$ 79.900	\$ 79.900	\$ 67.143
	Bandejas para engorde-cosecha	30	\$ 15.961	\$ 478.830	\$ 402.378
	Estante trampas	1	\$ 79.900	\$ 79.900	\$ 67.143
	Trampa de pupas 1/2	10	\$ 15.400	\$ 154.000	\$ 129.412
	Trampa para pupas 2/2	10	\$ 27.990	\$ 279.900	\$ 235.210
	Trampa de pupas 1/2 más grande de pru	5	\$ 15.200	\$ 76.000	\$ 63.866
	Pala dosificadora	1	\$ 1.990	\$ 1.990	\$ 1.672
	Calefactor (Inverter) 9 mil BTU	1	\$ 399.990	\$ 399.990	\$ 336.126
	Ventilador	1	\$ 70.213	\$ 70.213	\$ 59.003
	Balanza	1	\$ 60.000	\$ 60.000	\$ 50.420
	Máquina Tamizadora	1	\$ 1.773.100	\$ 1.773.100	\$ 1.490.000
	Contenedor de Frass	1	\$ 6.990	\$ 6.990	\$ 5.874
	Contenedor de larva	1	\$ 9.990	\$ 9.990	\$ 8.395
Sanitización y sacrificio	Lavadero	2,0	\$ 149.000	\$ 298.000	\$ 250.420
	Malla	1	\$ 37.000	\$ 37.000	\$ 31.092
	Kit fogón	1	\$ 44.900	\$ 44.900	\$ 37.731
Post procesamiento	Microondas 30 L Ursus trotter	1	\$ 119.990	\$ 119.990	\$ 100.832
	Prensa aceite	1	\$ 257.000	\$ 257.000	\$ 215.966
	Despacho prensa (importar)	1		\$ -	\$ 100.000
	Moledor para obener harina	1	\$ 237.800	\$ 237.800	\$ 199.832
	Mini nevera para pupas	1	\$ 119.990	\$ 119.990	\$ 100.832
				Costo para instalaciones	\$ 2.000.000
				Infraestructura extra	\$ 3.196.360
				TOTAL NETO	\$ 20.415.213

Costos fijos piloto: remuneraciones

<i>Remuneraciones</i>	Sueldo mensual
Operario	\$ 850.000
Estudiante en práctica	\$ 250.000
Supervisor	\$ 1.400.000
Total/mes	\$ 2.500.000

Costos variables piloto

<i>Alimentación</i>	Ingredientes	Cantidad/bandeja	Total bandejas x día	cantidad total x día	Costo por kg /m3/l	Costo total x mes
Sala Cuna	Comida pollo (kg)	0,90	1,00	0,90	\$ 556	\$ 15.011
	Fibra de coco (m3)	0,00168	1,00	0,00	\$ 268.832	\$ 13.549
					Total alimento	\$ 28.560
<i>Electricidad</i>	Equipo	Cantidad equipos	Horas de uso por día	Costo/hora (\$/h)	Costo total/día (\$)	Costo total mes
Reproducción (moscas)	Calefacción 9 mil BTU	1	24	86,912	\$ 2.086	\$ 62.577
	Ventilación	1	24	2,688	\$ 65	\$ 1.935
	Lámpara	1	12	16,8	\$ 202	\$ 6.048
	Mini nevera	1	24	89,6	\$ 2.150	\$ 64.512
	Humidificador	1	24	2,24	\$ 54	\$ 1.613
Salacuna+pupas	Calefacción 9 mil BTU	1	24	86,912	\$ 2.086	\$ 62.577
	Ventilación	1	24	2,688	\$ 65	\$ 1.935
Engorde	Calefacción 9 mil BTU	1,00	24,00	86,91	\$ 2.086	\$ 62.577
	Ventilación	1	24	2,688	\$ 65	\$ 1.935
	Equipo	Producción (kg/h)	Kg larva, frass o ambas	Horas uso por día	Costo por hora	Costo total x mes
Procesamiento vegetales	Moedor	700	64,75	0,092495129	1252,776	115,8756772
Separación	Tamizador vibratorio	3.000,0	10,8	0,00361	167,0368	18,08640416
Secado	Microondas		1,51	2,00	\$ 100,80	\$ 6.048,00
					Total electricidad	\$ 271.891
<i>Agua</i>		Litros/ kg larva	kg larvas por día	litros/día	Costo x litro	Costo total x mes
Limpieza		3,75	1,51	5,665868124	\$ 1,50	\$ 255
Sacrificio		1	1,51	1,510898166	\$ 1,50	\$ 68
Salacuna Alimento		2,10	1,00	2,10	\$ 1,50	\$ 95
					Total Agua	\$ 417
<i>Gas</i>		m3	Uso por mes (m3)	Costo cilindro	Costo/m3	Total x mes
Sacrificio	Cilindro 15 kg	19,3	6,433333333	19950	1033,678756	6650
					Total gas	\$ 6.650
<i>Medio para pupas</i>	Material	m3 aserrín/trampa	l de trampas o puparios	m3 aserrín/día	Costo por m3 aserrín	Costo aserrín mes
Engorde (trampas)	Aserrín	0,003276	1	0,003276	\$ 65.395	\$ 6.427
Reproducción (puparios)	Aserrín	0,00082875	1,00	0,00082875	\$ 65.395	\$ 1.626
<i>Envase</i>	Tipo envase	kg/envase	kg total producto/día	envase/día	Costo por envase	Costo envase/mes
Larvas deshidratadas	Envase 500 g	0,5	0,302179633	1	\$ 101	\$ 3.017
					Total materiales	\$ 11.070
					Total CV	\$ 318.588

Dificultades del proyecto:

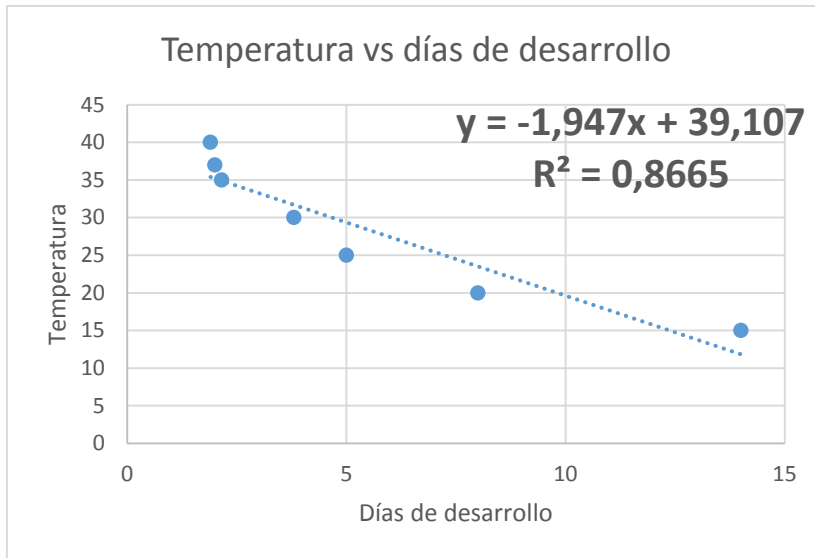
-
- The figure consists of several parts:
- Top Left:** A small diagram titled "We offer complete insect plants" showing a plant being treated with a spray.
 - Top Center:** A circular diagram illustrating the life cycle of the pest, starting from "HUEVOS" (Eggs) and proceeding through "LARVA L1 a L2", "LARVA L3 a L4", "PUPA", and finally "ADULTO". It also includes a section for "PREPARACIÓN" (Preparation) and "CICLO DE VIDA" (Life Cycle).
 - Top Right:** A collection of small photographs showing different stages of the pest's development, including eggs, larvae, and pupae.
 - Middle Left:** A photograph of a person wearing protective gear, likely a researcher or farmer, working with the plants.
 - Middle Right:** A large table summarizing the findings of the study. The table has multiple columns, including "Especie de planta", "Especie de plaga", "Método de control", "Resultado", "Observaciones", and "Fecha".
 - Bottom Left:** A collection of small photographs showing different stages of the pest's development, similar to the top right.
 - Bottom Center:** A photograph of a person working with plants, possibly demonstrating the application of the treatment.
 - Bottom Right:** A large table summarizing the findings of the study, similar to the middle right one.

- 35

Anexo 12. Estimaciones de temperatura y tasas de éxito para alcanzar productividad objetivo.

Eclosión

Se decide el parámetro de que el tiempo en incubación del huevo hasta la eclosión demore 3,5 días

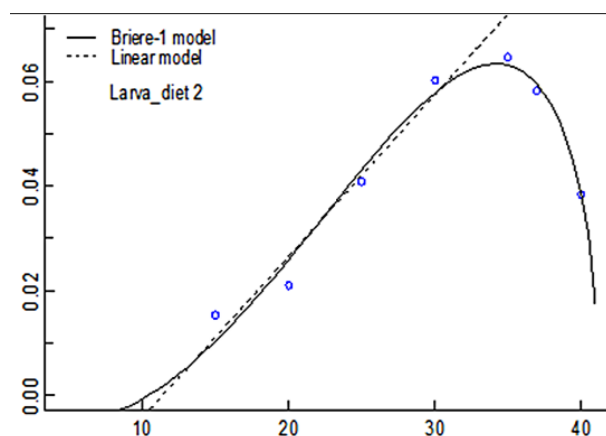
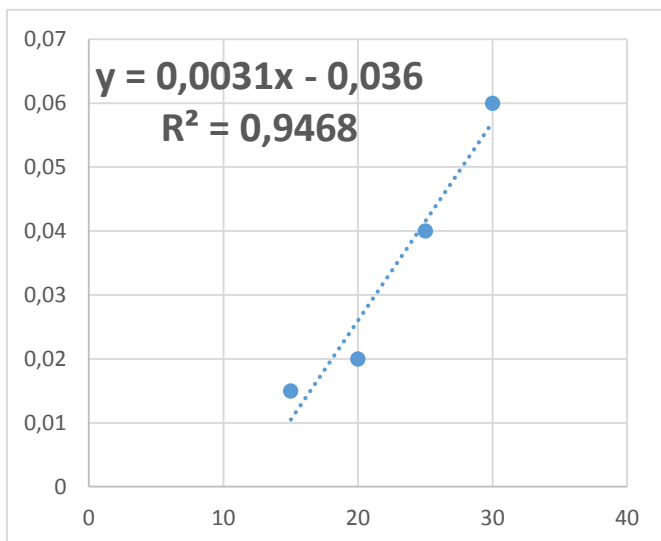


Días de incubación:		3,5	días
Días de desarrollo	x	3,5	días
Temperatura °C	y	32	°C

Temperatura	Tasa eclosión	
	Media	DE
15	10,6%	2,1
20	59,0%	10,6
25	59,8%	8,5
30	80,0%	5,6
35	74,8%	14,7
37	9,8%	3,1
40	9,4%	2,1

Larva

Se decide que la larva desde que nace hasta que se empieza a convertir en prepupa es de 17 días.

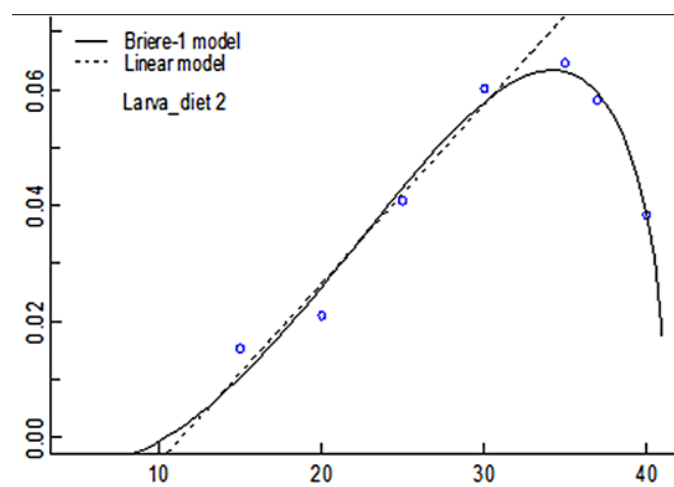
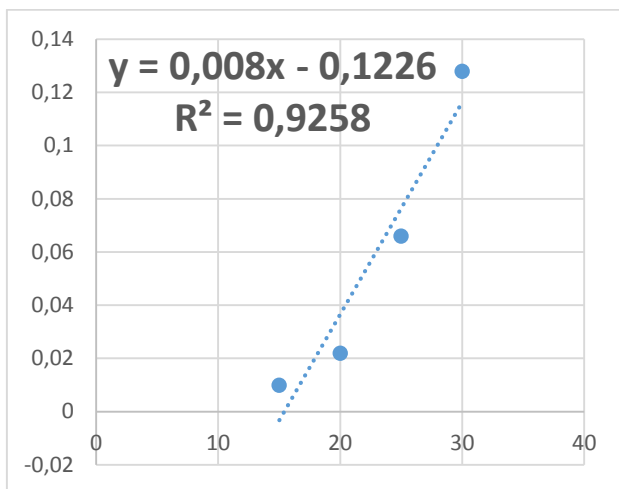


Días de crianza	17	
Tasa	y	0,059
Temperatura	x	30,59

Temperatura	Tasa	
	Media	DE
15	87,0%	3,5
20	82,4%	5,4
25	58,0%	5
30	90,4%	0,7
35	92,2%	3,5
37	84,0%	1,5
40	27,6%	7,7

Prepupa

Se decide que el estado de prepupa se de en máx 8 días

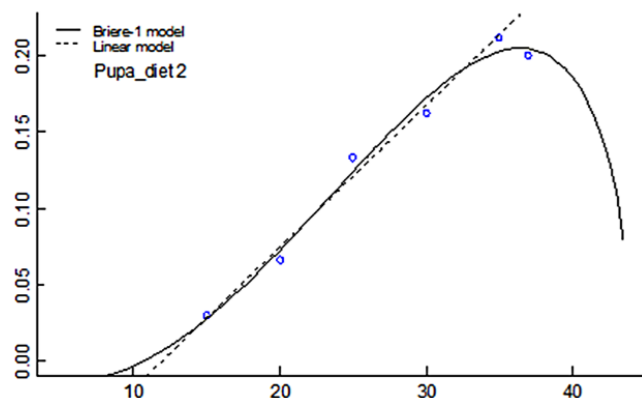
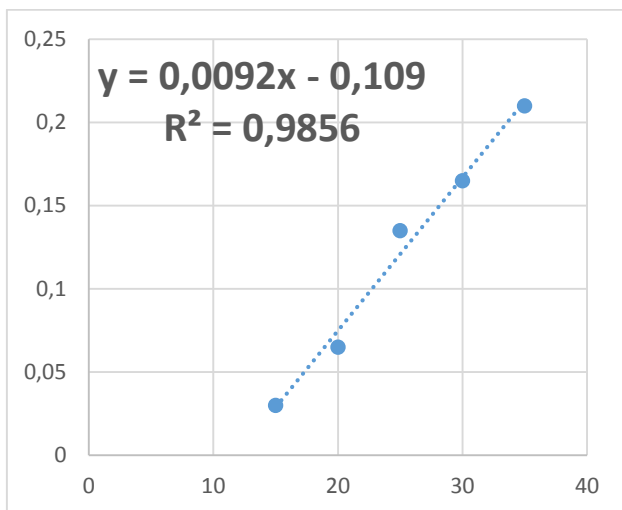


Días como prepupa	8	
Tasa	y	0,125
Temperatura	x	30,95

Temperatura	Tasa		
	Media	DE	
15	58,7%	1,3	
20	68,4%	5,2	
25	83,1%	2,9	
30	82,2%	4,2	
35	75,2%	3,1	
37	24,1%	3	

Pupa

Se decide que el estado de pupa dure 10 días



Días como pupa	10	
Tasa	y	0,100
Temperatura	x	22,72

	Tasa	
Temperatura	Media	DE
15	49,3%	7,1
20	61,6%	4,5
25	67,4%	4
30	77,1%	5,9
Temperatura: x		22,72
Tasa: y		64%