



Tecnológico de Monterrey

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Querétaro

Integración de tecnologías sustentables en biosistemas. AG2003B.301

Evidencia 2. Propuesta de intensificación sostenible

Profesoras:

Leticia Félix Cuencas

Victoria Francisca Figueroa Bustos

Paola Guillermina Vilchis Gutiérrez

Alumnos:

Adriana García Caballero - A01710485

Ian Carlos Alcocer Chávez – A01710401

Ernesto González González - A01710603

Kristopher Mitchel Morillo - A01710602

Juan Pablo Miguel Villarreal Gamboa - A01352232

Socio formador:

UAQ Campus Amazcala

Dr. Juan Fernando García Trejo

28 de noviembre de 2024. Querétaro, Qro.

Introducción

En este proyecto, se realiza el análisis del sistema de producción de huevo en gallinas ponedoras junto con el socio formador “Universidad Autónoma de Querétaro, campus Amazcala”. Este estudio se enfoca en evaluar alternativas alimenticias en la producción avícola, específicamente la inclusión de harina de larva de mosca soldado negra como sustituto parcial de la soya, un ingrediente comúnmente utilizado en la alimentación de las gallinas. Este enfoque busca no solo optimizar el rendimiento de la producción de huevo, sino también mejorar la salud de las aves y reducir el impacto ambiental asociado con los sistemas convencionales de producción.

El sistema de producción de huevo enfrenta varios retos, siendo uno de los más notorios el estrés generado en las gallinas debido a factores como la densidad poblacional y las condiciones ambientales. Estos factores afectan tanto el bienestar animal como la productividad del sistema (Campbell et al., 2022) (Alig et al., 2023), lo que se convierte en un área de oportunidad importante a tratar mediante la implementación de soluciones innovadoras y sostenibles. Por otro lado, la inclusión de alternativas proteicas como la harina de larva de mosca soldado negra también podría ofrecer una solución a la necesidad de reducir el impacto ambiental de la producción, especialmente en la reducción de la dependencia de la soya, un cultivo que tiene un impacto ambiental alto debido a su proceso de cultivo y la deforestación asociada (Kumar et al., 2022).

Este proyecto se justifica en la creciente necesidad de adoptar metodologías más ecológicas y eficientes para la producción de alimentos. La producción de huevo es una actividad clave en el sector agroalimentario global, la cual enfrenta una demanda cada vez mayor de adoptar metodologías de producción más sostenibles. En este contexto, la harina de larva de mosca soldado negra, que puede ser producida a partir de residuos orgánicos, como los desperdicios de pan, ofreciendo así una buena alternativa. Estas larvas tienen la capacidad de ingerir desechos orgánicos en grandes cantidades, para posteriormente ser convertidas en un sustituto proteico para la alimentación de las gallinas, generando una mejor salud para estas (Delgado, 2021), de esta manera contribuyendo a la gestión

responsable de residuos orgánicos y a la reducción de la huella ecológica de la producción de alimentos.

El objetivo de este proyecto es evaluar el impacto de la inclusión de harina de larva de mosca soldado en la alimentación de gallinas sobre los productos avícolas, analizando sus efectos en la salud de las aves, la calidad de los productos obtenidos y la sostenibilidad del proceso. A través de un análisis integral en los dominios social, ambiental, humano, económico y productivo, se busca establecer indicadores de intensificación sostenible que permitan un crecimiento responsable y beneficioso en la producción avícola.

Descripción del sistema

El sistema a analizar durante este proyecto, es la producción de huevo de gallina de la variedad genética Nick Brown de la Universidad Autónoma de Querétaro campus Amazcala.

El campus cuenta con un corral gallinero de más de mil gallinas, de las cuales se destinaron 48 para realizar esta investigación. Estas gallinas se colocaron en un corral dentro del otro corral, pero de forma relativamente aislada, de modo que las gallinas destinadas a la investigación, no estuvieran con las de producción para no llegar a generar confusión. Al principio de esta se contaban con las siguientes características: 48 gallinas distribuidas en 12 jaulas de 1.8 m x 0.8 m, con 4 gallinas en cada una. Estas 12 jaulas se agrupan en 4 bloques de 3 jaulas, y cada bloque tiene un método de alimentación distinto, lo que da un total de 12 gallinas por método de alimentación. Al momento de realizar nuestra primera toma de datos, se contaban con 40 gallinas debido a que se mataban entre ellas.

Las gallinas son alimentadas con el tipo de alimento que les corresponde, del cual se coloca una cantidad medida diariamente en los comederos, proporcionando a las gallinas una alimentación ad libitum; por otra parte, para la hidratación de estas se contaba con un sistema de tuberías que recorre todo el corral, el cual tiene su bebedero directo a cada una de las jaulas. Este sistema de tuberías actualmente no sirve, por lo que la hidratación se está llevando a cabo en bebederos avícolas convencionales.

Los diferentes tipos de alimentación se dividen en: Alimento comercial (marca Nutri Sow) , alimento con larva desgrasada, alimento con larva completa y alimento sin larva. Estos alimentos cuentan con diferentes composiciones, las cuales son mostradas en la tabla 1 y 2.

Tabla 1. Componentes de los alimentos para las gallinas elaborados para la investigación

Componente	Alimento con larva desgrasada	Alimento con larva completa	Alimento sin larva
Maíz	43%	42%	40.25%
Soja	23%	24%	29%
Sorgog	10%	8%	9.75%
Salvado	10%	8%	9.75%
Calcio	4%	3.25%	5%
Aceite	0.75%	-	4%
Melaza	2%	2%	2%
NaCl	0.25%	0.25%	0.25%
Harina de larva de mosca soldado	7%	12.5%	-

20% del compuesto proteico de larva y 80% del compuesto proteico de soya.

Tabla 2. Componentes del alimento comercial “Aves Postura Sow alimento para aves” de la marca Nutri Sow.

Componente	Cantidad
Proteína cruda	17.0%
Grasa cruda	2.0%%
Fibra cruda	4.0%
Cenizas	12.5%
Humedad	12.0%

E.L.N.	52.5%
--------	-------

Por otro lado, algunas de las principales amenazas que podemos encontrar en este sistema, son las enfermedades aviares, las cuales son difíciles de controlar. La investigadora nos mencionó que hace poco tiempo tuvieron un brote de viruela, la cual los dejó con un poco de rezago y tuvieron que tomar medidas que no nos mencionaron. Otra de las amenazas que se pueden encontrar son el estrés debido a la forma y el lugar en el que se encuentran, conduciendo a un aumento del picoteo de plumas (El-Lethey et al., 2000). Además, este sistema tiene varias áreas de oportunidad en la parte física en las cuales si se mejoran podrían hacer que las gallinas tengan una mejor calidad de vida.

Estrategias de intensificación sustentable

Las estrategias seleccionadas, como el uso de larvas alimentadas con residuos orgánicos, no solo abordan la necesidad de una dieta alternativa para las gallinas, sino que también contribuyen a la protección ambiental mediante la reducción de desechos orgánicos y la disminución de emisiones asociadas a los insumos convencionales. En términos de protección social, estas prácticas fomentan la seguridad alimentaria, promueven sistemas productivos más sostenibles y pueden abrir oportunidades económicas para los pequeños productores. Todo esto se logra sin descuidar la rentabilidad de la producción, ya que los costos operativos se optimizan a medida que la escalabilidad del modelo reduce el precio de producción de los insumos.

1. **Reducir la dependencia de insumos:** La utilización de harina de larva de mosca soldado negra es una alternativa para disminuir la dependencia de insumos externos en la alimentación de gallinas. Esta fuente de proteína es más económica y sostenible pues se produce a partir de la conversión de residuos orgánicos, lo que reduce costos de producción e impacto ambiental. Además, el ciclo de vida de la mosca soldado es corto.

2. **Diversificar estrategias de manejo:** La capacidad de producir alimento propio no solo ahorra en costos, sino que también permite un mejor control sobre la calidad y contenido, mejorando la calidad de los huevos. Los huevos obtenidos tienden a ser más nutritivos, lo que aumenta su valor en el mercado y beneficia a los consumidores.
3. **Construir capacidad adaptativa:** Al integrar prácticas de reciclaje, el sistema de producción se hace más resiliente. Por ejemplo, al aprovechar desechos orgánicos para alimentar a las larvas, se crea una economía circular en la que los residuos son reutilizados y no dependen de recursos externos.
4. **Manejo de paisajes agrícolas para servicios ecosistémicos:** La incorporación de larvas de mosca soldado negra en el ciclo productivo de las gallinas no solo asegura la sostenibilidad económica, sino que también enriquece el ecosistema agrícola. Al usar las larvas en la bioconversión de desechos, se refuerza el ciclo de vida agrícola, lo que contribuye a un modelo circular que integra producción y manejo de residuos en un solo sistema sostenible.

Con estas estrategias, el proyecto establece un equilibrio entre sostenibilidad ambiental, eficiencia económica y bienestar social, posicionándose como un modelo replicable en sistemas avícolas de diferentes escalas.

Indicadores dirigidos a evaluar las estrategias propuestas

Para realizar esta evaluación se proponen diferentes indicadores, basados en las cualidades de interés para poder llevar a cabo el proyecto. Estos indicadores se clasifican en 5 dominios, que son: social, condición humana, ambiental, económico y de productividad.

Tabla 3. Indicadores para la evaluación de estrategias propuestas

Indicador	Dominio	Objetivo	Método de medición	Escala de medición	Bibliografía
Aceptación del mercado respecto a la alimentación con harina de	Social	Evaluar la viabilidad comercial del producto mediante la	Encuestas a consumidores (nuestro mercado)	Porcentaje de aceptación (0-100%)	(Musamba M et al, 2017)

larvas de mosca soldado-negra		percepción y aceptación de los consumidores			
Mejorar las condiciones laborales en la producción avícola	Condición Humana	Identificar el nivel de satisfacción y bienestar de los trabajadores involucrados en el proceso productivo.	Por medio de encuestas de satisfacción a empleados y retroalimentaciones de cómo es que se sienten	Escala numérica de satisfacción (0-10)	(Guillermo E. Dabos, 2018)
Conversión de residuos orgánicos en ingredientes proteicos para alimentación animal	Ambiental	Medir la reducción de residuos orgánicos y la eficiencia en la producción de larvas para insumos avícolas.	Medición de masa de los residuos orgánicos que se destinan a la producción de larvas de mosca soldado, larvas producidas y proteína generada.	Kilogramos de residuos, Kilogramos de larva producida, % de proteína que contiene la larva, % de sustitución de ingredientes convencionales.	(Maricruz I and Abel O, 2023).
Clasificación de los huevos en relación con el peso y evaluación de la relación costo-beneficio de la alimentación	Económico	Determinar la rentabilidad de la alimentación alternativa mediante la calidad y precio de los huevos producidos.	Evaluación de la inversión, comparada con la ganancia obtenida y precio de los huevos producidos.	Costo de elaboración de cada tipo de alimento (MXN) Clasificación de huevos por tamaño. Costo de venta del huevo (MXN)	(Brambila et al, 2016). (Bondoc and Bustos, 2021)
Medición de los parámetros de salud	Productividad	Analizar el efecto del alimento en	Medición por medio de báscula	Masa (g), escala de color (rojo,	(Pan'kova et al, 2022)

avícola para la mejora de la productividad Parámetros: masa (kg), cloaca y cresta		la salud de las gallinas y su capacidad productiva.	analítica y rúbrica de inspección visual de cresta y cloaca.	manchas amarillas, base sin manchas, anomalía)	
Porcentaje de grasa en gallina ponedora	Productividad	Evaluar el impacto de la dieta en la composición corporal de las gallinas.	Necropsia y análisis de grasa corporal.	Por medio de porcentaje/gramaje	(Larry A. Cogburn et al 2015)
Porcentaje de proteína en gallina ponedora	Productividad	Determinar la calidad del alimento balanceado mediante la medición del contenido proteico.	Método Kjeldahl para evaluar nitrógeno total en el alimento.	Porcentaje de Nitrógeno	(Dorgham A and. Alderey A, 2024)

Al centrarse en la aceptación del mercado, la reducción de residuos, el bienestar laboral y la salud de las gallinas, se promueve un enfoque de intensificación sostenible que contribuye al bienestar social, mejora la productividad y protege el medio ambiente, mientras se mantiene una producción competitiva y alineada con los estándares de calidad. De esta manera, el proyecto no solo aborda desafíos actuales de la industria avícola, sino que también contribuye al desarrollo de sistemas agroalimentarios más resilientes y responsables.

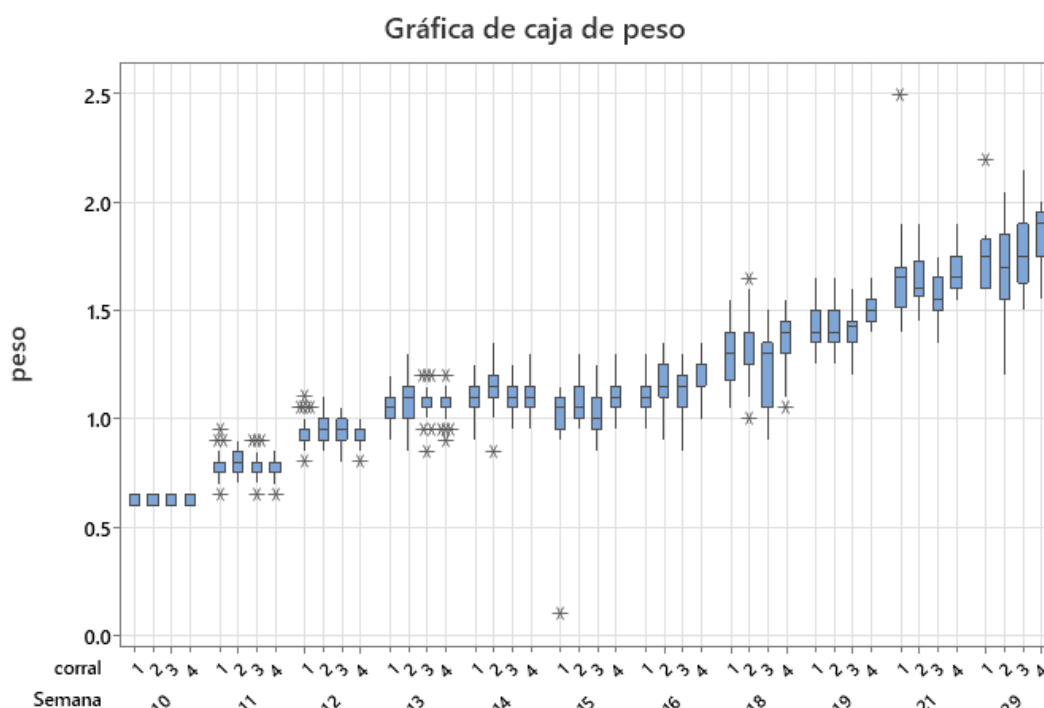
Evaluación inicial

Para realizar una evaluación respecto al proyecto presentado, consideramos ciertos parámetros que nos permiten determinar los resultados obtenidos del proyecto, dichos datos son pesos de las gallinas a través de un periodo de tiempo, la longitud del intestino tras realizar necropsias, peso de corazón, peso de huevo, análisis de prueba Kjeldahl para porcentaje de proteína y costos como precio de venta por huevo.

Peso de las gallinas

Se hicieron observaciones del peso de las gallinas a lo largo de las diferentes semanas de vida que iban pasando las gallinas. Se obtuvieron datos desde la semana 10 hasta la semana 29.

Gráfica 1. Gráfica de caja con las medias de los pesos de las gallinas por semana.



Posteriormente se realizó un análisis de varianza para las semanas de vida 19 y 29 de las gallinas, con el objetivo de compararlo con la guía de manejo de la raza y de esta forma, poder observar si las gallinas están cumpliendo las condiciones adecuadas. Los datos se muestran por corrales, los cuales equivalen a lo siguiente: Corral 1 con larva entera, corral 2 con larva desgrasada, corral 3 sin larva y corral 4 con alimentación comercial.

Las medias obtenidas por cada uno de los corrales, se muestran en la tabla 4. Por otro lado, los resultados obtenidos en el análisis de varianza son, un $p\text{ valor} = 0.000$ para la semana 19, demostrandonos que existe una diferencia significativa entre los valores, por

ende, existe una relación entre el alimento y el peso; un *valor* $p = 0.280$ para la semana 29, indicando que no existe una diferencia significativa entre los valores.

Tabla 4. *Medias de peso por corral y semana.*

Semana	Media de peso en g Corral 1	Media de peso en g Corral 2	Media de peso en g Corral 3	Media de peso en g Corral 4
19	1424.1	1424.2	1409.4	1507.4
29	1750.0	1704.5	1772.2	1863.6

En la Tabla 5 se muestra el peso vivo ideal de la raza Brown Nick con buen manejo y buenas condiciones ambientales, según la guía de manejo de gallinas ponedoras de huevo marrón Brown Nick, de la empresa H&N International.

Tabla 5. *Peso ideal de las gallinas Brown Nick en las semanas 19 y 29*

Semana	Peso vivo en g
19	1596
29	1922

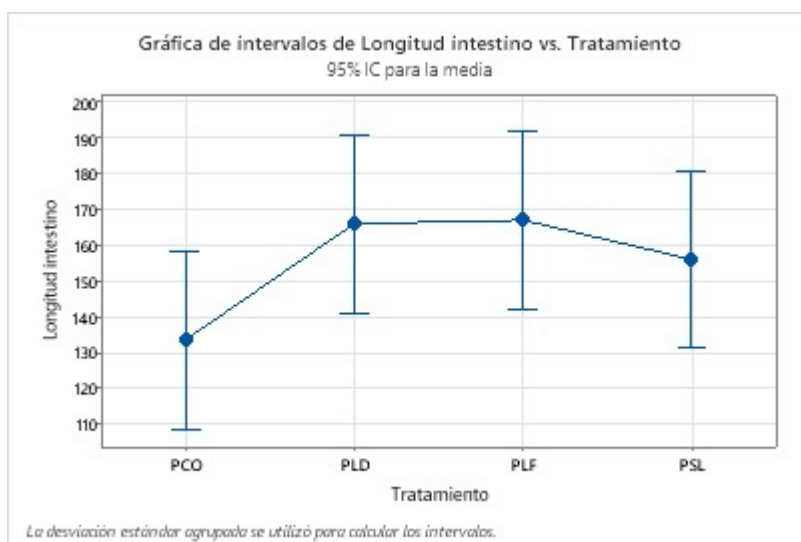
Gracias a estos datos, podemos darnos cuenta que en ninguna de las semanas, se cumplió el peso ideal de las gallinas con ninguna de las alimentaciones. Sin embargo se puede observar que la alimentación del corral 4 (alimento comercial), es la más cercana a estos valores óptimos con una diferencia de 88.6 g en la semana 19 y 86 g en la semana 29.

Análisis de longitud intestinal.

Para este parámetro, se nos proporcionó datos respecto a la longitud del intestino de la gallina, separado por alimento, siendo *PCO*, alimento comercial, *PLD*, alimento con

larva de mosca soldado desgrasado, *PLF*, alimento con larva de mosca soldado completa y *PSL*, alimento sin larva de mosca soldado, por cada alimento, se midió la longitud del intestino de 2 gallinas, obteniendo 8 muestras en total y 2 por tratamiento.

Gráfica 2. Longitud promedio del intestino de gallinas por tratamiento alimenticio.

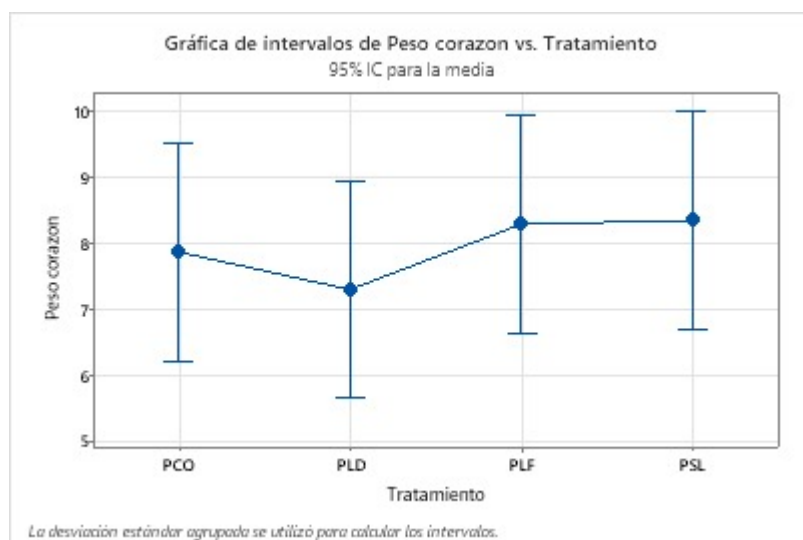


Podemos observar como en los tratamiento *PLD* y *PLF* existen una longitud mayor respecto a los dos tratamientos anteriores, donde *PLD* tiene 167 cm de longitud, mientras que *PLF* tiene 166 cm de longitud, lo cual indica un apropiado impacto de la alimentación con larva de mosca soldado pues a mayor longitud de este mismo, aumenta la capacidad de absorción de nutrientes proyectándose con un impacto positivo en el crecimiento y eficiencia de puesta de huevo (Neuhaus, N et al, 2024).

Peso del corazón.

Para este parámetro, se realizó la misma metodología que en el paso anterior, obteniendo un total de 8 muestras, correspondientes a 2 por cada tratamiento planteado.

Gráfica 3. *Peso promedio del corazón de gallinas por tratamiento alimenticio.*

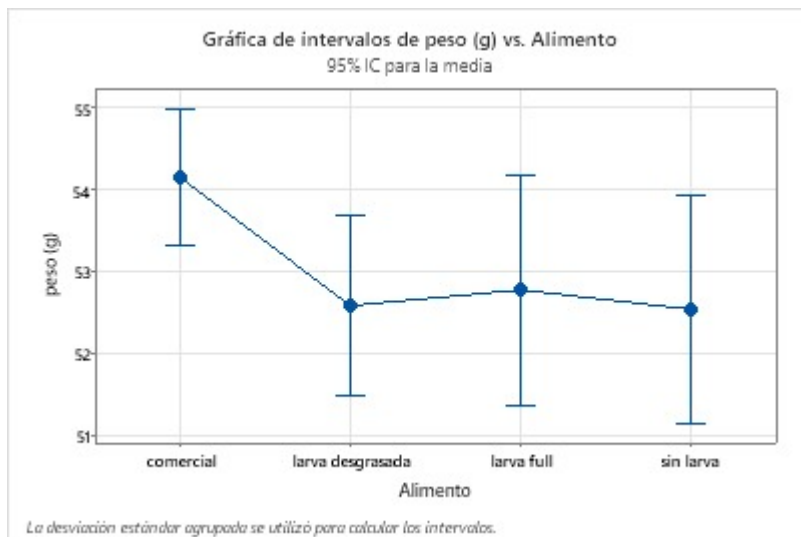


Podemos observar como los tratamientos *PLF* y *PSL* presentaron mayores pesos, siendo de 8.25 gr para *PLF* y 8.34 gr para *PSL*, indicando un peso mayor en el alimento con larva completa y el alimento sin larva de mosca, indicando que, el alimento desgrasado presenta un peso menor respecto a todos los demás tratamientos, aunque para el caso de *PLF* y *PSL*, existe la posibilidad de que presente una mejora en la salud de la gallina, pues la evidencia sugiere que un mayor tamaño en el corazón de gallinas, afecta a los niveles séricos de glucosa y lípidos, siendo indicadores de una mejora en la función metabólica (Fikri F et al, 2024).

Peso de huevo.

Para este parámetro, se contó con un total de 113 muestras que corresponden al alimento comercial, un total de 65 muestras correspondientes al alimento *PLD*, 40 muestras para el alimento *PLF* y 41 muestras para el alimento *PSL*.

Gráfica 4: Peso promedio del huevo de gallina por tratamiento alimenticio.



En este caso, los alimentos realizados como es el caso de *PLF*, *PSL* y *PLD*, presentan pesos de huevo menores, siendo 52.79 gr, 52.551 gr, 52.59 gr respectivamente, mientras que para el alimento *PCO*, el valor obtenido fue de 54.161 gr. indicando que en cuestión de peso, los alimentos con larva de mosca soldado y el alimento sin larva no presentan una mejora en la masa total de huevo, aunque este peso puede ser causado por diversos parámetros, como altura de la yema como peso, peso de la albúmina, grosor de cáscara, aire interno, entre otros parámetros por lo que, el peso de huevo no nos indica la calidad propia de los huevos (Iposu S et al., 1994).

Análisis de Kjeldahl

Se realizó un análisis de Kjeldahl con el objetivo de obtener el porcentaje de proteína en muestras de alimento y de excreta. Se planeaba obtener un análisis por cada uno de los cuatro alimentos y de la excreta de cada uno de los corrales, sin embargo, debido a cuestiones de tiempo y materiales, solo se pudieron realizar los análisis de: alimentación con larva desgrasada, alimentación con larva completa, excreta del corral alimentado con larva desgrasada y excreta del corral alimentado con larva completa.

Los resultados del análisis fueron los mostrados en la tabla 6.

Tabla 6. Resultados del análisis de Kjeldahl

Tipo de muestra	%p
Alimento con larva completa	7.85
Alimento con larva desgrasada	27.1
Excreta de alimento completo	15.55
Excreta de alimento desgrasado	6.1

Con estos resultados, nos damos cuenta que hay una diferencia entre el porcentaje de proteína que ingiere la gallina y el que sale en la excreta. En cuanto a la alimentación con larva completa se obtuvo una diferencia de -7.7, lo que nos indica que la excreta tuvo más proteína que el alimento, esto se puede deber a diferentes factores como las plumas y el pasto que se encontraba en la excreta. Por otro lado, se obtuvo una diferencia de 21, indicándonos que hubo menos proteína en la excreta que lo consumido por la gallina.

Costos de producción y estimaciones de rentabilidad.

Para este parámetro, se nos proporcionó el precio de producción para cada uno de los tratamientos planteados en este experimento, y para el caso de alimento *PCO*, se realizó una búsqueda sobre los precios medios de alimento para gallinas en México.

Tabla 7. Costos de producción de alimentos como del alimento comercial

PSL	PLD	PLF	PCO
\$9.645/kg	\$11.56/kg	\$12.595/kg	\$4.69/kg y \$9.95/kg

Como podemos observar, existe una diferencia significativa entre los costos por tratamiento, donde en referencia con el alimento comercial, vemos que el alimento *PSL* es 105.65% más caro que el comercial, el *PLD* es 146.48% más barata y la *PLF* es 168.55%

más cara que el comercial, por lo que en cuestión de costos, el alimento *PCO* es superior en accesibilidad el alimento, indicando un problema para la implementación en un sistema productivo debido a que el 11% de los gastos de un productor mexicano de huevo es en alimento, por lo que incrementar el precio aumentaría el porcentaje de gasto y disminuiría la rentabilidad del proyecto (Ibarra-Castro et al., 2013), como alternativa hacia la implementación de este proyecto a un sistema productivo, es importante considerar la venta del producto como elemento orgánico y para este proceso, se debe de cumplir con la Ley de Productos Orgánicos (LPO) pues existe un incremento considerable en relación a la venta de productos convencionales y orgánicos, pues en promedio, la docena de huevo convencional tiene un precio de venta de \$40.00 pesos por docena, mientras que el orgánico puede alcanzar un precio de venta del \$81.00 pesos por docena (SENASICA, 2020).

El experimento planteado demuestra ventajas en cuestión de bienestar animal y salud general de gallinas, gracias a la información encontrada respecto a la longitud de intestino como del corazón, respecto al sector económico encontramos que es compleja su implementación en sistemas productivos externos al mostrado en el experimento, principalmente por lo precios elevados que presentan dichos alimentos en comparación con el alimento comercial representando un incremento significativo en los gastos de un productor mexicano. Sugerimos implementar mayor datos medido relación con la gallina, como pueden ser las unidades de Haugh, electrolitos, composición química de la carne de gallina, gramaje de la yema, clara, índice de yema, grosor de cáscara, entre otros, con la finalidad generar una evaluación detallada del impacto que genera la larva de mosca soldado como alimento en las gallinas ponedoras (Fikri F et al, 2024).

Propuesta

Durante el periodo de observación del experimento llevado presenciamos diversos patrones y comportamientos que, generado por diversas causas, generan un impacto negativo en la experimentación, como son el picoteo de plumas, cloaca, piel, huevos, canibalismo, apatía, entre otros, síntomas comunes de estrés, por lo que sugerimos ciertas medidas a llevar a cabo para reducir esta estado de las gallinas que está teniendo repercusiones negativas en el proyecto planteado (Carvalho, R et al, 2018).

Enriquecimiento del entorno de crianza

El ambiente en la crianza temprana de las gallinas tiene un impacto crítico en su desarrollo físico, por lo que es importante tener un entorno apropiado tanto físico, sensorial como estimulador para lograr una expresión adecuada del potencial máximo de la gallina (Campbell D et al, 2019) por lo que podemos realizar modificaciones en las instalaciones para cumplir con este propósito, las que sugerimos implementar son estimulaciones visuales, ya que las gallinas poseen un sistema de visión bien desarrollado desde etapas tempranas que favorecen a su desarrollo completo, esto mediante objetivos que presenten movimiento, pues es aquello en lo que las gallinas poseen una mayor preferencia y, como otro punto a cubrir, objetivos con patrones regulares como irregulares, con colores llamativos y de diversas formas, esto pues genera adaptaciones rápidas a situaciones irregulares aumenta su tolerancia al estrés, otra forma de enriquecimiento que consideramos apropiada es la implementación de obstáculos físicos y sistemas de navegación complejos, esto pues se ha demostrado que la implementación de perchas, desniveles, caminos complejos, entre otros obstáculos presentan una mejora en el desarrollo cognitivo y a su vez, fortalecimiento corporeo de las gallinas, mejorando el sistema inmune, estructuras internas y mejorando el hueso medular, esencial en las gallinas por ser el tejido que actúa como fuente de calcio en la formación de huevo (Whitehead C, 2004).

Densidad poblacional

La densidad poblacional en las gallinas tiene un impacto en cuestión a adaptabilidad y salud fisiológica, pues los sistemas tradicionales como cajas convencionales reducen la expresión genérica, genera aumentos en el riesgo de sufrir degradación esquelética, posteo entre aves y en general, un aumento de la mortalidad, a su vez el estrés o experiencia vividas durante etapas tempranas pueden tener impacto en el corto, mediano plazo como un impacto transgeneracional (Campbell D et al, 2019).

Respecto a este punto, lo que sugerimos es mantener una densidad poblacional en las primeras 6 semanas de vida de la gallina, esto pues se ha demostrado un aumento en los niveles de corticosterona y ansiedad que perdura a largo plazo si se experimenta

condiciones no favorables para los polluelos, por lo que sugerimos un espacio por polluelo de entre 500 a 167 cm², pues un espacio más reducido propuesta genera los problemas planteados anteriormente y una tasa de adaptación reducida, a partir de las siguientes semanas de vida podemos aumentar la densidad poblacional pues no presentan un impacto negativo a partir de la 6 semana de vida, teniendo un rango de 1429 a 500 cm² por gallina, (Von Eugen et al, 2019) a su vez sugerimos la implementación de nidos, esto pues genera estímulos biológicos y ambientales para el proceso de puesta, generando oportunidades para la formación de experiencias positivas (Engel J et al, 2019).

Otra modificación apropiada sería el ajuste de los lúmenes en etapa de postura, pues se establece que un rango de entre 5 y 10 lux son apropiados, pues al ser mayor de este rango es posible que exista una mayor frecuencia de picoteos agresivos, también se recomienda mantener la concentración baja de gases de amoníaco y dióxido de carbono (Janczak, A &. Riber, A, 2015).

Implementación de protocolo de sanidad.

Con el propósito de reducir la incidencia de patógenos en las gallinas como hacia el propio ser humano, proponemos un protocolo de sanidad. La ubicación de la unidad de producción avícola debe garantizar aislamiento sanitario, estableciéndose al menos a 3 km de otras instalaciones similares, plantas de alimento y asentamientos humanos, minimizando riesgos de contaminación. El diseño espacial debe optimizar la ventilación y proteger a las aves de condiciones climáticas adversas. Las instalaciones deben incluir cercos perimetrales seguros con acceso controlado y un módulo sanitario que contemple zonas sucias, grises y limpias para el cambio de ropa y desinfección del personal. La limpieza y desinfección periódica de instalaciones, equipos y utensilios debe realizarse con desinfectantes adecuados, manteniendo registros detallados. Es esencial implementar un programa sanitario que contemple vacunaciones, monitoreo de enfermedades y manejo racional de fármacos, además de establecer protocolos para la prevención y control de patologías comunes. La alimentación debe ser balanceada y ajustada a los requerimientos nutricionales de las aves, con suministro constante de agua potable. En términos de

bienestar animal, se debe mantener un ambiente óptimo mediante el control de temperatura, humedad e iluminación, asegurando espacio suficiente para el libre movimiento, evitando el hacinamiento. La recolección de huevos debe realizarse al menos dos veces al día, clasificándolos por tamaño y calidad, y almacenados en condiciones adecuadas para preservar su frescura. Finalmente, es crucial capacitar continuamente al personal en prácticas sanitarias, manejo animal y bioseguridad, promoviendo hábitos de higiene personal para prevenir la introducción de patógenos en la granja (SENASICA, 2019).

Línea de tiempo para implementación

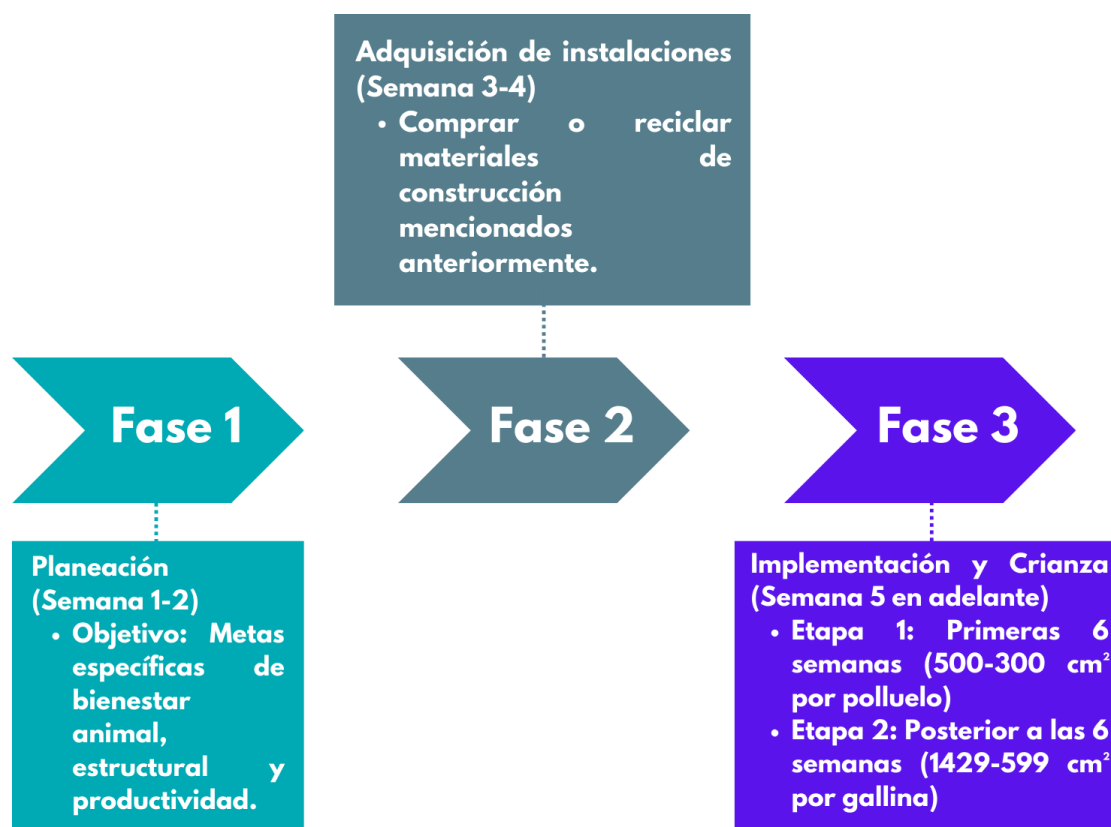


Imagen 1. Línea del tiempo principales etapas y actividades de la estrategia

Fase 1: Planeación (Semana 1-2)

Objetivo: Metas específicas de bienestar animal, estructural y productividad.

Diagnóstico inicial: Evaluar las condiciones del área de crianza y determinar las necesidades específicas (Espacio, infraestructura, equipo).

Diseño: Selección de elementos visualmente llamativos, patrones irregulares y determinar materiales disponibles, el diseño de estructuras físicas para estimulación estructural (perchas, desniveles, estructuras giratorias, entre otros), establecer espacios de densidades poblacionales correspondientes por etapa (Como se determinó en la investigación).

Insumos: Espacio físico, materiales para fabricación elementos visuales (plásticos, madera, pintura no tóxica, cuerdas).

Manual de diseño y construcción: Esto está a disposición del diseñador del espacio.

Fase 2: Adquisición de instalaciones (Semana 3-4)

Materiales: Comprar o reciclar materiales de construcción mencionados anteriormente.

Construcción e instalación: Colocar los elementos visuales en el entorno, instalar perchas y desniveles en áreas clave para aumentar el enriquecimiento, preparación de los compartimientos para las distintas densidades según la etapa de la gallina.

Insumos necesarios: Mano de obra para la instalación y adaptación, herramientas para la instalación.

Fase 3: Implementación y Crianza (Semana 5 en adelante).

Etapas 1: Primeras 6 semanas (500-300 cm² por polluelo)

Actividades: Colocar a los polluelos en compartimientos con la densidad adecuada, introducir objetos inmóviles y visualmente estimulantes para reducir ansiedad, monitorear los niveles de estrés y comportamiento mediante observación.

Insumos necesarios: Sistema de monitoreo de comportamiento y salud y alimento y agua accesibles con control de calidad.

Etapas 2: Posterior a las 6 semanas (1429-599 cm² por gallina)

Actividades: Redistribuir las gallinas en áreas más amplias, incrementar la complejidad de los objetos estructurales (introducción de desniveles y objetos giratorios), monitorear parámetros de salud como peso, hueso medular, y calidad de huevos.

Insumos necesarios: Material adicional para ajustar la infraestructura y registro de datos de salud y productividad.

Prácticas que soportan la estrategia propuesta

La estrategia basada en el uso de harina de larva de mosca soldado negra para mejorar la alimentación de gallinas ponedoras se sustenta en las siguientes prácticas relacionadas con el manejo integral de la empresa (UAQ Campus Amazcala):

1. Planificación del manejo adaptativo

Se llevará a cabo una evaluación continua de los resultados productivos, que incluyen el peso, la calidad del huevo, los parámetros económicos y de bienestar animal (Octavio et al., 2020). Con base en estos resultados, se realizan ajustes en la composición de la dieta utilizando harina de larva desgrasada y completa (Montserrat et al., 2020). Además, se promueve la flexibilidad para adaptar el uso de ingredientes locales, como desechos, según su disponibilidad y costo (Studt, 2010). También se busca identificar el impacto del uso de la harina de larva, analizando indicadores como el porcentaje de reducción en la dependencia de alimentos tradicionales, como la soya y el maíz, y el aumento en la rentabilidad económica. Por último, se capacita al personal encargado de la producción avícola en técnicas de manejo adaptativo, monitoreo de indicadores y buenas prácticas en la alimentación con harina de larva.

Programa de monitoreo

Tabla 8. Programa de monitoreo de gallinas alimentadas con mosca soldado negra

¿Qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?
Kg gallinas	Pesaje	Semanal
G huevos	Pesaje	Semanal
% de grasa en gallinas	Análisis de necropsia	Mensual
Características cualitativas (coloración de cresta, plumaje, cloaca, etc.)	Análisis cualitativo	Mensual
Rentabilidad	Costo-beneficio	Mensual

Este programa, al integrar mediciones tanto cuantitativas como cualitativas, permite tomar decisiones basadas en datos. Así, no solo se asegura la salud y bienestar animal, sino también la sostenibilidad económica y ambiental del sistema de producción.

Índice de eco-eficiencia

Donde los beneficios totales son la clasificación de los huevos según su calidad y por tanto costo beneficio, la producción de proteína a través del uso de residuos orgánicos y la productividad general de la gallina usando su peso y calidad de huevo, y los impactos ambientales y sociales sería el uso de recursos como agua y espacio, niveles de aceptación del mercado y las condiciones laborales.

A la aceptación del mercado se le asignará una ponderación del 20%, sobre las mejoras en las condiciones laborales en la producción avícola, se le dará la ponderación de un 10%, respecto a lo ambiental será la conversión de residuo orgánico de la larva de mosca, teniendo una ponderación del 30%, relación entre el uso de espacio un 10%, sobre la dimensión económica la clasificación de los huevos en relación con su peso y el costo beneficio, una ponderación del 20% y respecto a la dimensión de productividad, los parámetros relacionados con la salud de las gallinas un 5% y el % de grasa otro 5%.

Cálculo de Beneficios Totales (BT):

1. **Clasificación de huevos (económico):** H=60
 - Ponderación: 20% $\rightarrow 60 \times 0.2 = 12$.
2. **Conversión de residuos orgánicos (ambiental):** R=70.
 - Ponderación: 30% $\rightarrow 70 \times 0.3 = 21$.
3. **Productividad (salud de gallinas):**
 - Salud (SG=65) \rightarrow Ponderación 5% $\rightarrow 65 \times 0.05 = 3.25$
 - Grasa (G=50) \rightarrow Ponderación 5% $\rightarrow 50 \times 0.05 = 2.5$

$$\text{BT total} = 12 + 21 + 3.25 + 2.5 = 38.75$$

Cálculo de Impactos Ambientales y Sociales (IAS):

1. **Aceptación del mercado:** A = 80A = 80A = 80.
 - Ponderación: 20% $\rightarrow 80 \times 0.2 = 16$
2. **Condiciones laborales:** CL = 70
 - Ponderación: 10% $\rightarrow 70 \times 0.1 = 7$
3. **Uso de espacio:** E = 75
 - Ponderación: 10% $\rightarrow 75 \times 0.1 = 7.5$

$$\text{IAS total} = 16 + 7 + 7.5 = 30.5$$

$$IE = \frac{BT}{IAS}$$

$$IE = \frac{38.75}{43.5} \approx 0.89$$

El Índice de Ecoeficiencia es 0.89, lo que indica que el sistema genera menos beneficios en comparación con los impactos. Esto señala áreas para mejorar la sostenibilidad, especialmente reduciendo el uso de recursos o aumentando la productividad para alcanzar un balance más favorable.

Conclusiones

Con este proyecto se logró evaluar el impacto de la implementación de larva de mosca soldado en la dieta de la gallina ponedora mediante diferentes métodos estadísticos y experimentales. Se consiguió observar cómo esta nueva dieta afecta en la salud de las gallinas, además de darnos cuenta de los diferentes factores como el estrés y la alimentación, que influyen en el bienestar y en la productividad de estos animales.

Aunque no se lograron demostrar diferencias significativas en la salud de las gallinas se logró demostrar que existe una mejora en la absorción de nutrientes debido al crecimiento en el intestino de los animales. Sin embargo, fuera de la mejoría en la absorción de nutrientes, no se logró demostrar una mejoría en torno a cuestiones físicas y de peso, además de que en la parte productiva, tampoco se demostró una mejoría en cuestión de tamaño y peso de los huevos; sin embargo, hay que tomar en consideración que no se realizaron otro tipo de análisis como de sangre o de contenido del huevo, por lo que no se puede concluir que no existe una mejora en solo una cosa.

Por otro lado, el incluir esta alternativa de proteína en las dietas de las gallinas, representa una alternativa más sostenible al aprovechar los desechos orgánicos de diferentes sistemas de producción en materia proteica, promoviendo en parte, una economía circular. La implementación a largo plazo de este biosistema y de esta propuesta, podría ayudar a mejorar la diversificación económica dando un valor agregado a los productos mediante la obtención de certificaciones orgánicas, además de que, actualmente en el mercado se tiende a pagar más por productos sostenibles, abriendo las posibilidades a entrar en mercados crecientes y nuevos, además de promover prácticas más responsables en la industria.

Este proyecto no solo ayuda al mejoramiento de las condiciones de vida de las gallinas, sino que también promueve los objetivos de desarrollo sostenible, principalmente el ODS 2 (Hambre Cero) mediante la contribución a la seguridad alimentaria mediante la reducción a la dependencia de ingredientes tradicionales, el ODS 12 (Producción y Consumo Responsable) al llevar la cadena de producción alimentaria de forma más sostenible pudiendo llegar a reducir los desechos generados y el ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres) reduciendo la presión sobre los ecosistemas naturales al disminuir la necesidad de cultivos convencionales.

Gracias a esta evaluación, nos damos cuenta del potencial de la harina de larva de mosca soldado para hacer más sostenible la producción de huevo, aprovechando desechos orgánicos e incluso pudiendo implementarse en otros biosistemas. Aunque no se logró observar una diferencia significativa en comparación con la dieta comercial, los resultados nos muestran una base para seguir explorando a futuro, diferentes alternativas sostenibles para la producción de alimentos.

Bibliografía

- Alderey, A. A., & Dorgham, S. A. (2024). Productive performance of Silver Montazh laying hens fed diets containing different levels of protein and energy. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 27(1), 39-56.
- Alig, B. N., Ferket, P. R., Malheiros, R. D., & Anderson, K. E. (2023). The Effect of Housing Environment on Commercial Brown Egg Layer Production, USDA Grade and USDA Size Distribution. *Animals*, 13(4), 694.
<https://doi.org/10.3390/ani13040694>
- Bermúdez-Serrano, I. M., & Sánchez-Velázquez, O. A. (2023). Aprovechamiento integral de la Mosca Soldado Negra: Bioconversión, sostenibilidad y desafíos emergentes. *Scientia Agropecuaria*, 14(4), 571-590.
- Bondoc, O. L., Santiago, R. C., Bustos, A. R., Ebron, A. O., & Ramos, A. R. (2021). Grading and size classification of chicken eggs produced by native, egg-type, meat-type, dual-purpose and fancy-type breeds under Philippine conditions. *International Journal of Poultry Science*, 20(2), 87-97.
- Campbell, A. M., Johnson, A. M., Persia, M. E., & Jacobs, L. (2022). Effects of Housing System on Anxiety, Chronic Stress, Fear, and Immune Function in Bovan Brown Laying Hens. *Animals*, 12(14), 1803. <https://doi.org/10.3390/ani12141803>
- Campbell, D. L. M., De Haas, E. N., & Lee, C. (2019). A review of environmental enrichment for laying hens during rearing in relation to their behavioral and physiological development. *Poultry Science*, 98(1), 9-28.
- Carvalho, R. R., Palme, R., & da Silva Vasconcellos, A. (2018). An integrated analysis of social stress in laying hens: The interaction between physiology, behaviour, and hierarchy. *Behavioural processes*, 149, 43-51.

- El-Lethey, H., Aerni, V., Jungi, T. W., & Wechsler, B. (2000). Stress and feather pecking in laying hens in relation to housing conditions. *British Poultry Science*, 41(1), 22-28.
<https://doi.org/10.1080/00071660086358>
- Engel, J. M., Widowski, T. M., Tilbrook, A. J., Butler, K. L., & Hemsworth, P. H. (2019). The effects of floor space and nest box access on the physiology and behavior of caged laying hens. *Poultry science*, 98(2), 533-547.
- H&N International. (2020). Brown Nick Ponedoras de huevo marrón | Nueva Guía de Manejo.
<https://hn-int.com/wp-content/uploads/2020/10/brown-nick-es-compressed.pdf>
- Janczak, A. M., & Riber, A. B. (2015). Review of rearing-related factors affecting the welfare of laying hens. *Poultry Science*, 94(7), 1454-1469.
- Kumar, P., Sharma, M., Abubakar, A. A., Hayat, M. N. B., Ahmed, M. A., Kaka, U., & Sazili, A. Q. (2022). Soybean: Sustainability issues. En *Elsevier eBooks* (pp. 219-231). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823960-5.00021-4>
- Mendoza Rodríguez, Y. Y., Brambila Paz, J. D. J., Arana Coronado, J. J., Sangerman-Jarquín, D. M., & Molina Gómez, J. N. (2016). El mercado de huevo en México: tendencia hacia la diferenciación en su consumo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(6), 1455-1466.
- Molina - Delgado, Carlos. (2021). Uso de harina de larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en alimentación animal. E.F.
- Musumba, M., Grabowski, P., Palm, C., & Snapp, S. (2017). Guide for the sustainable intensification assessment framework. Available at SSRN 3906994.

- Neuhaus, N., Lierz, M., & Möller Palau-Ribes, F. (2024). Comparative study of gastrointestinal tract size in three parent breeds for the production of dual-purpose organic chickens. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 53(5), e13098.
- Odongo, E. E., Bbosa, W. K., & Kahunde, P. K. (2024). Black Soldier Fly (BSF): A sustainable solution for protein, waste management, and a circular bio-economy. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 2(3), 822-834.
- Pankova, S., Havilei, O., Polyakova, L., & Chorna, G. (2022). Pattern of formation of egg production in chickens depending on their live weight at the beginning of photostimulation. *Bulletin of Agrarian Science*, 100(10), 19-28.
- Pujol-Cols, L. J., & Dabos, G. E. (2018). Satisfacción laboral: una revisión de la literatura acerca de sus principales determinantes. *Estudios gerenciales*, 34(146), 3-18.
- Resnyk, C. W., Chen, C., Huang, H., Wu, C. H., Simon, J., Le Bihan-Duval, E., ... & Cogburn, L. A. (2015). RNA-Seq analysis of abdominal fat in genetically fat and lean chickens highlights a divergence in expression of genes controlling adiposity, hemostasis, and lipid metabolism. *PloS one*, 10(10), e0139549.
- SENASICA (2019). Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de huevo para plato (3ª ed.).
- von Eugen, K., Nordquist, R. E., Zeinstra, E., & van der Staay, F. J. (2019). Stocking density affects stress and anxious behavior in the laying hen chick during rearing. *Animals*, 9(2), 53.
- Whitehead, C. C. (2004). Overview of bone biology in the egg-laying hen. *Poultry science*, 83(2), 193-199.
- Octavio, V.-S., Silvia, C.-D., Roberto, C.-R., Martínez-Marcial Mónica, Genaro, M.-D.-L.-L., Ernesto, Á. G., Villanueva, O., & Calzada, S. (2020). Evaluación del

bienestar animal de gallinas ponedoras Bovans White alojadas en piso. Abanico Veterinario, 10(1). <https://doi.org/10.21929/abavet2020.5>

Montserrat, M., Fernando, J., Nieto, I., Pacheco, B. P., Oviedo, V., & Angélica, A. (2020). Estudio de la implementación de harinas de larva de mosca soldado y microalga como suplemento en la alimentación de gallinas ponedoras. Emprennova, 1(2), 162–170. <https://revistas.uaq.mx/index.php/emprennova/article/view/346/355>

Studt, N. (2010). USO DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*Hermetia illucens*) PARA EL MANEJO DE RESIDUOS MUNICIPALES ORGÁNICOS EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD EARTH, COSTA RICA. In repositoriotec.tec.

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/695/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y