



Portada Interna de Tesis

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias en Ingeniería en Biosistemas

TESIS

Inclusión de larva *Hermetia Illucens* en la dieta de lechón post-destete, su efecto sobre la digestibilidad y requerimientos energéticos

Presenta:

Alonso Ortiz Luviano

Dirigido por:

Dr. Juan Fernando García Trejo

SINODALES

Dr. Juan Fernando García Trejo

Presidente

Firma

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez

Secretario

Firma

Dra. Samantha Elizabeth Bautista Marín

Vocal

Firma

M en C. Benito Parra Pacheco

Suplente

Firma

M en C. Mónica Vanessa Oviedo Olvera

Suplente

Firma

Centro
Universitario
Querétaro,
Qro.
2023
México



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Inclusión de larva *Hermetia Illucens* en la dieta de
lechón post-destete, su efecto sobre la digestibilidad
y requerimientos energéticos

por

Alonso Ortiz Luviano

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: IGMAC-309251

Agradecimientos

A mi familia por todo su apoyo incondicional.

A mi director de tesis, Dr. Juan Fernando García Trejo, por confiar en mi y darme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto. Gracias por su guía, por enseñarme lo que es ser un Maestro.

A mis amigos dentro del Laboratorio de Bioingeniería por todo su apoyo durante todo este tiempo gracias, Benito, Hugo, Lupillo, Sam, Jime, Isa, Mónica y Marta. Llegué solo pero nunca me sentí solo gracias a ustedes.

A mis compañeros fieles Mosco, Choco y Chente.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | 8 |
| ABSTRACT..... | 10 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Aspectos generales sobre la porcicultura | 1 |
| 1.2 La problemática del destete en la porcicultura | 2 |
| 1.3 Digestibilidad de nutrientes..... | 4 |
| 1.4 Partición energética | 7 |
| 1.5 <i>Hermetia Illucens</i> alternativa en la alimentación animal | 9 |
| 2. ANTECEDENTES | 11 |
| 2.1 El destete..... | 11 |
| 2.2 Estrategias en la alimentación de lechones en destete..... | 16 |
| 2.3 Uso de larva de <i>Hermetia Illucens</i> en la alimentación de cerdos..... | 19 |
| 3. HIPÓTESIS | 22 |
| 4. Objetivo General | 23 |
| 4.1 Objetivos específicos..... | 23 |
| 5. Material y Métodos..... | 24 |
| 5.1 Descripción general | 24 |
| 5.2 Formulación teórica | 25 |
| 5.2.1 Obtención y caracterización de harinas..... | 25 |
| 5.2.2 Balanceo de dietas | 28 |
| 5.3 Elaboración de alimentos experimentales | 29 |
| 5.4 Validación de dietas experimentales | 32 |
| 5.4.1 Localización..... | 32 |
| 5.4.2 Animales y alojamiento..... | 32 |
| 5.4.3 Suministro de tratamientos | 35 |
| 5.4.4 Colecta Fecal..... | 36 |
| 5.4.5 Determinación de digestibilidad..... | 36 |
| 5.4.6 Medición de las variables asociadas al desempeño productivo | 37 |
| 5.4.7 Análisis e interpretación de los datos obtenidos..... | 38 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6. | RESULTADOS y DISCUSIÓN | 40 |
| 6.1 | Caracterización y formulación teórica de las dietas..... | 40 |
| 6.2 | Elaboración de alimentos | 41 |
| 6.3 | Construcción de unidad experimental | 42 |
| 6.4 | Efecto de las dietas experimentales en el desempeño productivo..... | 45 |
| 6.4.1 | Pesos | 45 |
| 6.4.2 | Consumo de alimento..... | 46 |
| 6.4.3 | Ganancia de peso semanal..... | 48 |
| 6.4.4 | Ganancia diaria de peso..... | 50 |
| 6.4.5 | Conversión alimenticia | 53 |
| 6.5 | Efecto de las dietas experimentales en los coeficientes de digestibilidad de nutrientes y energéticos..... | 56 |
| 6.5.1 | Coeficiente de digestibilidad energético | 56 |
| 6.5.2 | Coeficiente de digestibilidad de proteína..... | 57 |
| 6.5.3 | Coeficiente de digestibilidad materia grasa | 57 |
| 7. | CONCLUSIONES | 60 |
| 8. | Referencias..... | 61 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 1 Composición de la leche de cerda (Partridge et al., 1993)..... | 4 |
| Cuadro 2 Ecuación para el cálculo de ED, EM y EN (Noblet et al., 1993) | 9 |
| Cuadro 3 Efecto de la digestibilidad de dieta % sobre el consumo de alimento en lechones de 10 kg (Tolplis et al., 1995) | 14 |
| Cuadro 4 Consumo promedio de energía según la ingesta alimenticia y su densidad energética, comparación con lo predicho por NRC, 2012. (Lawlor, P.G et al., 2020). | 15 |
| Cuadro 5 Composición nutricional de la harina de larva de mosca soldado negra, soya y pescado | 18 |
| Cuadro 6 Composición de ácidos grasos en larva de mosca soldado negra y harina de pescado (Hender et al., 2021) | 19 |
| Cuadro 7 Balanceo teórico de las dietas experimentales niveles de inclusión y su composición química | 28 |
| Cuadro 8 Características nutricionales de las dietas experimentales | 29 |
| Cuadro 9 Composición química y perfil de aminoácidos de la harina de mosca soldado negra y la pasta de soya | 40 |
| Cuadro 10 Composición nutricional y niveles de inclusión de las dietas experimentales..... | 41 |
| Cuadro 11 Pesos registrados de los lechones por tratamiento a lo largo de la experimentación. | 46 |
| Cuadro 12 Parámetros productivos obtenidos por los tratamientos experimentales..... | 55 |
| Cuadro 13 Comparación de parámetros productivos obtenidos de cada uno de los tratamientos experimentales y los esperados por NRC, 2012 | 55 |
| Cuadro 14 Balance energético según los cálculos de digestibilidad aparente de las dietas experimentales..... | 56 |
| Cuadro 15 Coeficiente de digestibilidad % de nutrientes por tratamiento experimental..... | 58 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Partición de la energía del alimento en animales (McDonald et al., 2010)..... | 7 |
| Figura 2 Comportamiento de consumo de materia seca de lechones destetados a los 21 días (Pluske et al., 2023)..... | 11 |
| Figura 3 Síndrome patogénico post-destete (Pluske et al., 2003) | 13 |
| Figura 4 Diagrama general del proyecto dividido en tres etapas | 25 |
| Figura 5 Esquema de actividades para recolección de datos | 36 |
| Figura 6 Consumo promedio de alimento por semana de las dietas experimentales y consumo total de alimento durante toda la etapa de experimentación por tratamiento (kg/semana) | 47 |
| Figura 7 Consumo diario de alimento durante la semana 1 y 2 de experimentación de las dietas experimentales por tratamiento (kg/día)..... | 48 |
| Figura 8 Ganancia de peso de los lechones durante la semana 1 y 2 del periodo experimental. Ganancia total de peso de los lechones alimentados por las dietas experimentales a lo largo de todo el periodo experimental..... | 50 |
| Figura 9 Ganancia diaria de peso del lechón durante la semana 1 y 2 del periodo experimental por tratamiento..... | 52 |
| Figura 10 Ganancia de peso de los tratamientos a lo largo de la etapa de experimentación..... | 52 |
| Figura 11 Conversión alimenticia por tratamiento a lo largo de la experimentación..... | 53 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|---|--------------------------------------|
| Imagen 1 Ingredientes base dentro de las dietas experimentales (izquierda: maíz molido; derecha: suero de leche; abajo: harina de pescado) | 30 |
| Imagen 2 Composición de ingredientes de Dieta 1 (de arriba hacia abajo: maíz molido, suero de leche, harina de pescado y pasta de soya)..... | 31 |
| Imagen 3 Composición de ingredientes de Dieta 2 (de arriba hacia abajo: maíz molido, suero de leche, harina de pescado, harina de larva de mosca soldado entera)..... | 31 |
| Imagen 4 Composición de ingredientes de Dieta 3 (de arriba hacia abajo: maíz molido, suero de leche, harina de pescado, harina de larva de mosca parcialmente desgrasada) | 32 |
| Imagen 5 Diseño general de la unidad experimental | 34 |
| Imagen 6 Diseño por módulo de la unidad experimental y sus dimensiones..... | 35 |
| Imagen 7 Sistema de control de temperatura con sensor de grados, calentador y ventilador | ¡Error! Marcador no definido. |
| Imagen 8 Unidad experimental con sistema de abastecimiento de agua potable por bebederos de chupón y comederos individuales..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Imagen 9 Unidad experimental en funcionamiento albergando 30 lechones en la prueba de digestibilidad..... | ¡Error! Marcador no definido. |

RESUMEN

Debido a su composición nutrimental, la larva de mosca soldado negra podría ser un reemplazo de la pasta de soya en la dieta de lechón post-destete. El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un alimento con harina de larva de mosca soldado negra, capaz de sustituir por completo la pasta de soya en un alimento para lechones destetados, manteniendo el aporte nutricional y energético del alimento. Posteriormente evaluarlo conforme a la digestibilidad de nutrientes y de energía en lechones alimentados con harina de LMSN (larva de mosca soldado negra).

Se utilizaron tres dietas experimentales: una dieta control (D1) con pasta de soya, y dos dietas experimentales con harina de LMSN entera (D2) y harina de LMSN parcialmente desgrasada (D3). Se llevó a cabo una prueba de digestibilidad por 21 días con 10 lechones recién destetados por dieta.

Durante todo el periodo experimental, los lechones alimentados con la dieta D1 obtuvieron una ganancia de peso promedio de 53.89% mientras que los lechones alimentados con las dietas experimentales D2 y D3 tuvieron una ganancia promedio de 47.3% y 44.7% respectivamente. Sin embargo, los parámetros productivos no mostraron diferencias estadísticamente significativas. La dieta D3 registró una digestibilidad de proteína de 82.9% mientras que la dieta D1 y D2 reportaron un porcentaje de 79.7% y 79.8% respectivamente. Por otro lado, la dieta D2 registró un coeficiente de digestibilidad de extracto etéreo de 87.2% mientras que las dietas D1 y D2 registraron coeficientes de 86.5% y 86.4% respectivamente.

Por lo anterior, se pudo confirmar la viabilidad de la harina de LMSN como un insumo en la alimentación de lechones destetados. Debido al coeficiente de digestibilidad de proteína de la harina de LMSN desgrasada y su composición nutricional, se podría utilizar como sustituto parcial de la pasta de soya en el aspecto proteico dentro de la alimentación para cerdos. Por otro lado, se observó una mayor digestibilidad del aceite proveniente de la harina de LMSN, lo cual favoreció el incremento del consumo energético de los lechones. Sin embargo, no se recomienda una sustitución del 100% de la pasta de soya por harina de LMSN en

alimento para lechones post-destete.

Palabras clave: Proteína, harina de larva de mosca soldado negra, alimento, destete, cerdos.

ABSTRACT

Due to its nutritional composition, black soldier fly larva (LMSN) could be used as a substitute for soybean meal in the post-weaning piglet diet. The primary objective of this study is to develop a black soldier fly larva meal incorporated feed capable of completely replacing soybean meal in post-weaning piglet nutrition, while maintaining the nutritional and energy content. Subsequently, the feed will be evaluated for nutrient and energy digestibility in piglets fed with LMSN meal.

Three experimental diets were employed: a control diet (D1) with soybean meal and two experimental diets with whole LMSN meal (D2) and partially defatted LMSN meal (D3). A 21-day digestibility trial was conducted with 10 newly weaned piglets per diet.

Throughout the experimental period, piglets fed with the D1 diet showed an average weight gain of 53.89%, while piglets fed with the D2 and D3 experimental diets showed an average weight gain of 47.3% and 44.7%, respectively. However, there were no statistically significant differences in productive parameters. Diet D3 recorded a protein digestibility of 82.9%, whereas diets D1 and D2 recorded percentages of 79.7% and 79.8%, respectively. On the other hand, diet D2 showed an ethereal extract digestibility coefficient of 87.2%, while diets D1 and D2 had coefficients of 86.5% and 86.4%, respectively.

Based on these findings, the feasibility of using LMSN meal as a feeding ingredient for post-weaning piglets was confirmed. Due to the protein digestibility coefficient of defatted LMSN meal and its nutritional composition, it could be used as a partial substitute for soybean meal in the protein aspect of piglet nutrition. Additionally, higher digestibility of oil from LMSN meal was observed, enhancing the energy consumption of the piglets. However, a 100% substitution of soybean meal with LMSN meal in post-weaning piglet feed is not recommended.

Keywords: Protein, black soldier fly larva meal, feed, weaned, pig.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Aspectos generales sobre la porcicultura

La porcicultura comprende la actividad de crianza, alimentación y comercialización de cerdos. Como principal objetivo de dicha actividad se tiene la producción de carne de cerdo o productos derivados para consumo humano. Para cumplir este objetivo, se busca engordar cerdos hasta los 100 kg para ser enviados a los rastros y el producto final es una canal con un rendimiento de 80-82% del peso vivo del animal. Las granjas porcícolas pueden tener diferentes enfoques, entre ellos están: producción de animales para pie de cría, granjas productoras de lechones, granjas de engorda y granjas de ciclo completo. Cada una de estas granjas se enfoca en integrar una o varias etapas del ciclo productivo del porcino.

Las granjas productoras de lechones se enfocan en el ciclo productivo de las cerdas, las cuales cumplen con una etapa de cubrición, gestación y maternidad. El ciclo productivo de las cerdas es de 20 a 22 semanas, dentro de este periodo, la cerda recibe el semen del macho (etapa de cubrición), después la cerda queda gestante durante 16 a 17 semanas (etapa de gestación) y por último tendrá el parto. La cría permanecerá con la cerda de 3 a 5 semanas, hasta el destete (etapa de maternidad) (Paramio, T. et al., 2012). Los lechones destetados son vendidos a las granjas de engorda al cumplir 21-28 días de vida, con un peso promedio de 6 a 8 kg.

Después del ciclo productivo de las cerdas, tenemos el ciclo productivo del lechón el cual inicia con la lactancia, etapa que coincide con la maternidad en las cerdas. La lactancia puede durar de 21 a 35 días dependiendo del tipo de instalaciones, teniendo el destete como final de esta etapa. Enseguida la iniciación tiene una duración de 4 a 7 semanas y empieza desde que son separados de la madre (destete) con un peso de 6-8 kg hasta los 12-15 kg y pueden ser vendidos a otra producción de engorda donde se reciben y son alimentados según los requerimientos nutricionales que va teniendo el cerdo a lo largo de las diferentes etapas de la engorda que son: inicio, crecimiento, desarrollo y finalización. Estas etapas se conforman por cerdos que van desde los 6 a los 12 kg, después hasta los

25 kg, la siguiente etapa va hasta los 50 kg y, por último, la engorda hasta los 105-110 kg. Al terminar la etapa de finalización, se cuenta con un cerdo listo para su comercialización.

Finalmente, las granjas de ciclo completo pueden contar en una sola unidad de producción en donde se encuentran todas las áreas productivas, las hembras gestantes, las hembras de reemplazo, los lechones lactantes, lechones destetados y los cerdos en engorda. El ciclo productivo completo del cerdo es de 170 días, o bien, de 22 a 26 semanas (González., 2015).

La alimentación es uno de los aspectos más importantes dentro de las producciones animales representando el 70-80% de los gastos (Campabadal., 2009). Es por esto por lo que optimizar la alimentación y aplicar nuevas tecnologías es una de las estrategias principales dentro de la producción porcina. Diversas tecnologías y avances en esta área se han presentado en los últimos años (Atsbeha et al., 2020), siendo la alimentación por fases una primera estrategia para mitigar la pérdida de nutrientes durante el proceso de engorda. Pero los requerimientos nutricionales y la alimentación son diferentes durante todo el desarrollo de los cerdos, por ello se divide el tipo de alimentos en fases distintas y así, la diversidad de alimentos balanceados tendrá los nutrientes específicos requeridos por el animal en cada determinada edad, considerando la cantidad consumida durante cada etapa de vida (Campabadal., 2009). Sin embargo, este tipo de alimentación requiere agregar ingredientes altamente digestibles y de un alto valor nutricional, y debido a esto se ha provocado que durante muchos años –y actualmente también- se dé el abuso de ciertos insumos como la soya, que por sus características nutricionales es utilizada ampliamente en la alimentación no solo de cerdos sino en casi todas las especies productivas (Reese et al., 2010).

1.2 La problemática del destete en la porcicultura

Uno de los grandes desafíos dentro de la porcicultura es la etapa del destete, momento en el que se separa la cría de la madre y ocurre una transición de un

alimento líquido a uno sólido (Reis de Souza et al., 2010). Factores como la anticipada división, el cambio en la fuente de alimento y el ambiente nuevo provocan que el lechón se encuentre bajo un estado de nerviosismo. El manejo inadecuado del estrés sobre los lechones ocasionado por estos factores se ve reflejado en bajos índices productivos y altos índices de mortalidad en esta etapa de la producción (Varley et al., 2001). Cumplir con los requerimientos nutricionales del lechón al momento del destete será de suma importancia para el rendimiento productivo de un cerdo de engorda (Insuasti et al., 2008).

El destete natural es un proceso gradual que sucede en un lapso de varias semanas. Puede durar en promedio hasta la semana 17 de vida, sin embargo, el rango de tiempo puede ir de las 12 hasta las 20 semanas de edad de los lechones (Brooks P.H et al., 2003). En un entorno natural, el destete es un proceso de transición entre una alimentación basada exclusivamente en la leche materna a una alimentación sólida. En pocas palabras, la cría deja de depender de su madre como proveedora de nutrientes, y comienza a obtener el alimento por su propia cuenta (Zabielski.,1998). Este proceso no sólo involucra modificaciones en el tipo de alimentación como tal, además hay cambios neuroendocrinos y en el sistema digestivo se dan: desarrollo de estructuras celulares y producción y madurez de enzimas. Los cambios en el ambiente también son importantes en esta etapa para los animales (Reis de Souza et al., 2012). Dado que hay una separación de la cría y la madre, se inicia el proceso de adaptación a una vida independiente en la que comienza la sociabilización ante un grupo nuevo de animales y los lechones se encuentran frente a constantes cambios de ambientes.

El destete llamado “tradicional” es la práctica más cercana a la naturaleza, en donde el lechón es destetado entre los 56 y los 60 días de vida, con un peso de 25 a 30 kg. Esta práctica no es muy utilizada debido al poco rendimiento anual de camadas por hembra que se tendría (Sánchez et al., 2014). En contraste, la práctica más utilizada es el destete precoz donde el lechón es separado de la cerda entre los 21 y 28 días de vida, con un peso entre 2 y 8 kg (Sánchez et al., 2014).

Previo al destete, el lechón se alimenta exclusivamente de leche materna la cual se

conforma 80% de agua y 20% de materia seca, constituida por 30% proteína, 40% grasa y 25% lactosa (Cuadro 1). Su sistema digestivo se encuentra adaptado específicamente para digerir los nutrientes provenientes de la leche, todos altamente digestibles, por lo que se registra casi un 100% de digestibilidad (Williams et al., 2003) (Partridge et al., 1993).

Cuadro 1 Composición de la leche de cerda (Partridge et al., 1993).

| Nutriente | % |
|----------------|------|
| Proteína Bruta | 29 |
| Lípidos | 39.3 |
| Lactosa | 27.2 |
| Cenizas | 4.6 |

1.3 Digestibilidad de nutrientes

Los requerimientos nutricionales hacen referencia a las cantidades que necesita el cerdo para poder cumplir con su propósito en la producción, acorde a la etapa en la que se encuentre, la cual puede ser reproducirse, mantener su peso o engordar. Es importante que la dieta administrada cumpla con los nutrientes requeridos y que estos sean digestibles dependiendo de la etapa productiva que se encuentre el cerdo. La digestibilidad en la dieta se refiere a la cantidad de nutrientes que fueron absorbidos por un organismo después de ingerir algún alimento (Lawrence et al., 1983).

La digestibilidad es un indicativo del aprovechamiento de un insumo por el animal que lo ingiere, se define como la diferencia entre la cantidad ingerida y excretada de cierto nutrimento, en relación con la cantidad del nutrimento presente en el insumo o alimento (McDonald et al., 1986). La ecuación propuesta por Sauer (2000) y por McDonald (2010) lo expresa de la siguiente manera:

$$CDa = \left[\frac{Ni - Ne}{Ni} \right] * 100$$

Donde CDa es coeficiente de digestibilidad aparente, Ni es la cantidad ingerida del nutrimento, Ne es la cantidad excretada del nutrimento (Sauer et al., 2000).

$$CD = \left[\frac{\text{Nutriente consumido} - \text{Nutriente excretado}}{\text{Nutriente consumido}} \right]$$

Donde CD es coeficiente de digestibilidad (McDonald et al., 2010).

Las heces contienen materiales de origen no dietético. Estos materiales son propios del organismo como fluidos digestivos, células de la mucosa intestinal o el resultado del metabolismo microbiano de todo el tracto gastrointestinal, en especial el intestino grueso. Es por eso por lo que la digestibilidad se puede cuantificar tomando o no en cuenta estas pérdidas endógenas y de este modo se tienen tres maneras de expresar la digestibilidad. Tegiversar

La primera es la digestibilidad aparente que toma en cuenta los nutrientes no absorbidos del alimento junto con los componentes de origen endógeno dando como resultado un primer panorama de la digestibilidad verdadera, pero con una sobreestimación, ya que no se realiza ninguna corrección de pérdidas endógenas en el cálculo de digestibilidad (Mariscal et al., 2009).

La segunda es la digestibilidad verdadera la cual es definida como aquella que sustrae del cálculo las pérdidas endógenas haciendo una determinación de estas en el mismo experimento (Mariscal et al., 2009). Otra alternativa es la digestibilidad estandarizada la cual también sustrae del cálculo las pérdidas endógenas, pero esta utiliza un valor de referencia (Mariscal et al., 2009). Ambos cálculos de digestibilidad son más cercanos a la realidad que las determinaciones por digestibilidad aparente. El tipo de muestra a determinar se toma en cuenta para el tipo de digestibilidad a calcular.

Por último, están la digestibilidad fecal que hace referencia a la colecta de las heces

y la digestibilidad ileal que es cuando se obtiene el contenido del íleon evitando así obtener las pérdidas endógenas sobre la muestra. Cualquiera de las dos puede ser la muestra por analizar. Es así como se puede calcular la digestibilidad fecal aparente o la digestibilidad ileal aparente, también la digestibilidad fecal estandarizada y la digestibilidad ileal estandarizada.

El cálculo básico de digestibilidad toma en cuenta la cantidad de alimento ingerido y la cantidad de heces excretadas en un intervalo de tiempo definido, sin embargo, diversas circunstancias impiden la colecta total de las heces fecales por animal. El método por indicador nos permite calcular la digestibilidad sin la necesidad de cuantificar la cantidad total de excretas, con esta técnica, la digestibilidad fecal se puede determinar con ayuda de una sustancia indigestible llamada marcador. El marcador no debe ser absorbido por el animal, no debe interferir en la digestión de otros elementos, no debe tener algún efecto fisiológico sobre el animal; se debe excretar sin ninguna modificación y debe ser fácil de detectar su presencia en las excretas (Carmona Esteban-Osorio et al., 2012). Uno de los marcadores más utilizados en animales monogástricos es el dióxido de titanio (TiO²). Para realizar el cálculo de digestibilidad se debe conocer con certeza la cantidad del marcador en el alimento y la cantidad de marcador presente en las heces, de esta manera se hace una relación de las concentraciones del marcador en el alimento y en las heces para hacer el cálculo de coeficiente de digestibilidad (McDonald et al., 2010). El cálculo de coeficiente de digestibilidad aparente se puede expresar con la siguiente ecuación (Cañas., 1995):

$$CDA = \left[1 - \frac{NE * IA}{NC * IH} * 100 \right]$$

Donde CDA es el coeficiente de digestibilidad aparente, NE es la concentración de nutriente excretado, IA es la concentración del indicador en el alimento, NC es la concentración del nutriente consumido e IH es la concentración del indicador en las heces.

1.4 Partición energética

Comúnmente, la digestibilidad de nutrientes hace referencia a los macronutrientes los cuales comprendemos como proteína, lípidos y carbohidratos, pero es de suma importancia tomar en cuenta a la energía como un nutriente más, el cual se debe tomar en cuenta dentro de los cálculos de formulación y balanceo de dietas, dentro de los cálculos de requerimientos nutricionales del animal y también se busca tenga una alta digestibilidad. Los animales requieren adquirir energía ya sea para su mantenimiento o para producción. Ellos obtienen la energía por medio de la alimentación. Los requerimientos de energía para mantenimiento serán los necesarios para que el animal se mantenga con vida, la energía excedente que ingrese al organismo será la energía de producción, ya sea de tejido nuevo, de leche, huevo o incluso en la producción de un embrión durante la gestación. El suministro de energía en las dietas en animales puede medirse en términos de energía bruta (EB), lo que corresponde a los niveles de energía aportados por la composición química de los ingredientes. Sin embargo, no toda la energía bruta corresponde a la energía que quedará disponible para el animal como energía de mantenimiento o de producción (Figura 1) (McDonald et al., 2010).

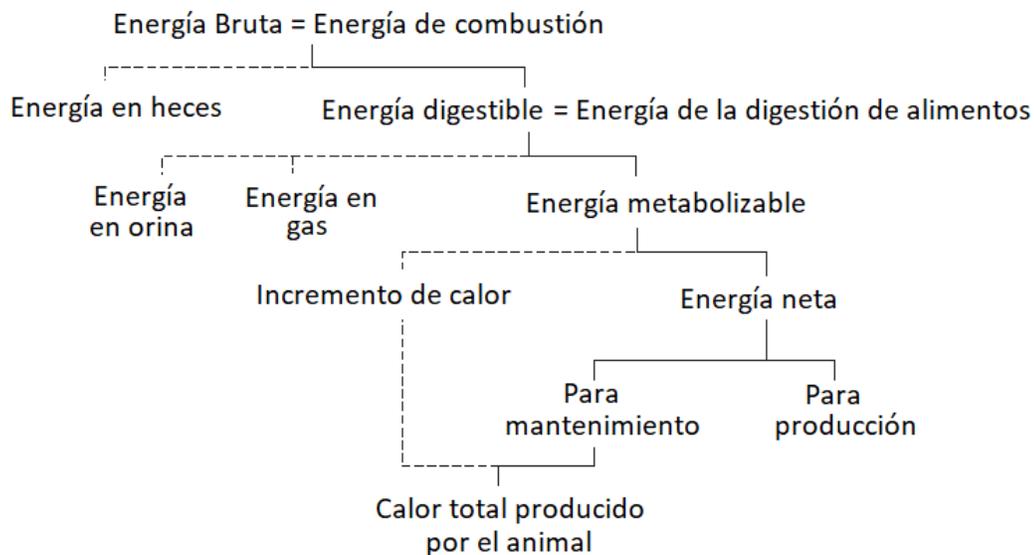


Figura 1 Partición de la energía del alimento en animales (McDonald et al., 2010)

La porción de energía que no es digerida, es excretada en forma de heces fecales. Se le llama energía digestible (ED) a la diferencia entre EB y la energía en las heces (Noblet et al., 1993). La energía digestible puede variar entre 60 a 95% debido a diferentes factores relacionados con la composición de los ingredientes y la capacidad de digestión según la etapa en la que se encuentra el cerdo (Noblet et al., 1993). La medición de ED se puede obtener analizando la composición de la dieta y posteriormente la composición de las heces excretadas por el animal. Se puede hacer un cálculo tomando en cuenta la composición de los ingredientes como lo muestra la ecuación en el Cuadro 2.

La energía metabolizable (EM) es una manera más precisa de medir la energía aprovechada en la dieta, ya que esta toma en cuenta la energía que se pierde en la producción de orina y gases originada en la degradación por fermentación durante la digestión. EM está estrechamente ligada al contenido de proteína cruda en la dieta ya que gran parte de la energía en la orina está dada por el contenido de nitrógeno. En promedio, se puede calcular la relación entre la EM y la ED en un 0.96 (Noblet et al., 1993). La ecuación propuesta para el cálculo de EM tomando en cuenta los cálculos de ED y los contenidos de proteína cruda se muestra en el Cuadro 2. La energía neta (EN) se define como la energía metabolizable menos la pérdida de energía en forma de calor ligada estrechamente con la ingesta de energía y al proceso de metabolización de los nutrientes, en otras palabras, la energía requerida para la alimentación y digestión (Noblet et al., 1993). El cálculo en relación de EN y EM es variable ya que dependerá de la situación en la que se encuentre el animal, su mantenimiento, crecimiento o producción. En el Cuadro 2 se menciona la ecuación propuesta para el cálculo de EN (Noblet et al., 1994) la cual se basa en los resultados de un experimento utilizando cabinas de respiración en cerdos de 45 kg y la composición química de los ingredientes dentro de la dieta.

Cuadro 2 Ecuación para el cálculo de ED, EM y EN (Noblet et al., 1993)

| Cálculo de energía | Ecuación |
|--------------------|---|
| ED (Kcal/kg) | $4.168 - (9.1 \times CEN) + (1.9 \times PC) + (3.9 \times EE) - (3.6 \times FND)$ |
| EM (kcal/kg) | $4.194 - (9.2 \times CEN) + (1.0 \times PC) + (4.1 \times EE) - (3.5 \times FND)$ |
| Energía Neta (EN) | $2.796 + (4.14 \times EE) + (0.81 \times ALM) - (7.07 \times CEN) - (5.38 \times FC)$ |

PC: proteína cruda, FND: fibra neutro detergente, CEN: cenizas, EE: extracto etéreo, ALM: almidón, FC: fibra cruda

1.5 *Hermetia Illucens* alternativa en la alimentación animal

En el caso de los ingredientes proteicos, la harina de soya es el de mayor uso en la porcicultura ya que contiene proteína de alta calidad, rica en aminoácidos esenciales. Además, sus componentes son altamente digestibles por los cerdos y contiene una gran cantidad de energía metabolizable (Rojas et al., 2013). Sin embargo, la harina de soya, debido a sus factores anti nutricionales en el lechón, se utiliza con ciertas restricciones (Cervantes-Pham et al., 2010). Lamentablemente, la producción y procesamiento excesivo de este ingrediente no solo ha hecho que el precio vaya en aumento cada día si no que su producción tenga un impacto medioambiental importante.

En la actualidad, se buscan ingredientes con una relación positiva entre una eficiencia nutricional y un impacto medioambiental.

Hermetia Illucens es uno de los insectos que se ha estado estudiando para el manejo de desechos orgánicos y para ser utilizada como fuente de proteína en las dietas de animales de producción (Van Huis et al., 2018).

La mosca de *Hermetia Illucens* o mosca soldado negra deposita alrededor de 500

huevecillos en un lugar seco, estrecho y cerca de una fuente de alimento, léase materia orgánica en estado de descomposición (Díclaro II., 2009). La larva eclosiona del huevo después de cuatro días de incubación aproximadamente, después se desarrollará durante 14 días pasando por seis estadios. Durante los 14 días de desarrollo, la larva consume enormes cantidades de alimento ya que necesita grandes reservas de energía para sobrevivir al estado adulto en el cual no consume alimento. Se ha caracterizado la composición nutricional de esta larva y los resultados la favorecen como una posible fuente alternativa de proteína en la alimentación animal (Barragán-Fonseca et al., 2017).

La composición nutricional de la larva varía dependiendo del sustrato donde se alimentó. El porcentaje de proteína cruda puede variar desde 30% hasta 60%, de la misma manera, el contenido de grasa varía entre 6% hasta 40% (Barragán-Fonseca et al., 2017). Debido a esta composición nutricional es por lo que se le considera a la larva de mosca soldado negra una alternativa viable como ingrediente proteico en la alimentación animal.

Sin embargo, en la actualidad no se ha probado un alimento que sustituya completamente a la soya por harina de larva de mosca soldado negra (LMSN), por lo que este trabajo pretende elaborar un alimento balanceado libre de soya, capaz de cubrir las necesidades nutricionales de los lechones post-destete.

2. ANTECEDENTES

2.1 El destete

Debido a la separación abrupta del lechón y de la madre a los 21 días, el sistema digestivo de los lechones no se encuentra adaptado completamente para una alimentación sólida 88% materia seca, las enzimas digestivas no son capaces de aprovechar los nutrientes dentro de la nueva dieta, mucho menos de asimilar fuentes de proteína de origen vegetal. Esta falta de adaptación ocasiona una disminución en el consumo de materia seca durante esta etapa, en especial durante la primera semana post-destete (Pluske et al., 2003), como se muestra en la Figura 2. Esta disminución en el consumo de materia seca ocasiona cambios morfológicos contraproducentes en el intestino delgado de los lechones, provocando una menor capacidad de digestión y absorción de nutrientes por parte de las vellosidades del intestino delgado, lo cual finalmente impide que los lechones cubran sus requerimientos de nutrientes, principalmente de proteína y de energía que son de suma importancia para el crecimiento (Reis de Souza et al., 2012).

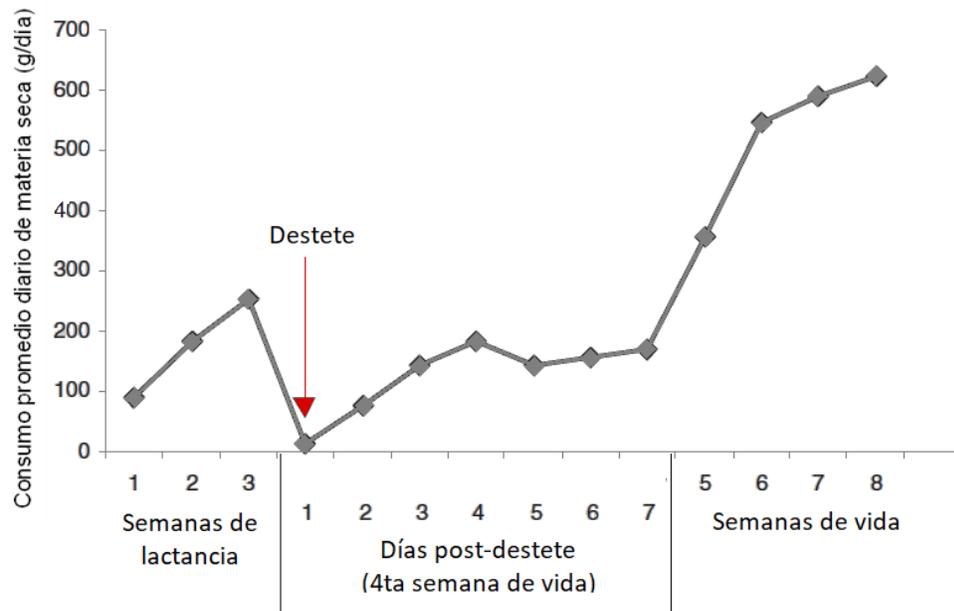


Figura 2 Comportamiento de consumo de materia seca de lechones destetados a

los 21 días (Pluske et al., 20023)

La digestibilidad del alimento es una pieza clave para la correcta transición del destete y esta se ve limitada por la capacidad de ingesta del lechón (Tolplis et al., 1995). Debido al consumo reducido o el ayuno prolongado hay cambios morfofisiológicos en el intestino, por ejemplo: se ha visto una atrofia de la mucosa intestinal (Insuasti, A et al., 2008), se ha observado una reducción de tamaño en las vellosidades del intestino generando una pérdida de enterocitos los cuales son las células epiteliales más abundantes del intestino delgado. Dentro de su gran variedad de funciones, los enterocitos se encargan de la absorción y de la digestión, ellas secretan enzimas encargadas de la digestión de carbohidratos y proteínas como aminopeptidasas, lactasa, sacarasa y maltasa (Zhang et al., 2014). En pocas palabras, podemos decir que el bajo consumo de alimento provoca una mala digestión y absorción del alimento, esto se retrata en la Figura 3 donde el autor Pluske et al., 2003 lo denomina como “Síndrome patogénico Post-destete”.

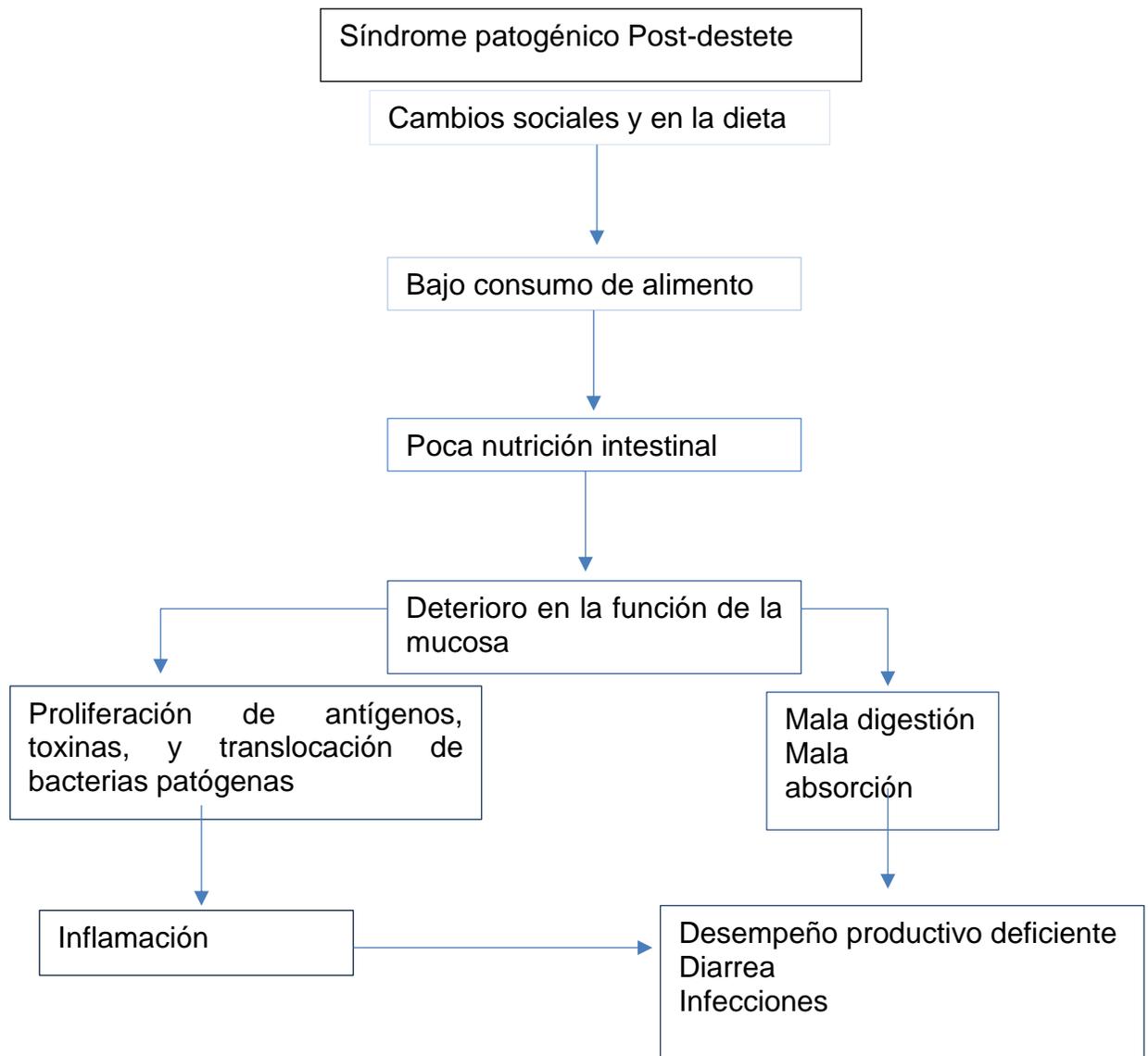


Figura 3 Síndrome patogénico Post-destete (Pluske et al., 2003)

Debido a las diferentes adversidades que el lechón afronta durante las semanas post-destete, es de gran importancia que los alimentos proporcionados contengan ingredientes altamente digestibles y que sean capaces de aportar la cantidad requerida de nutrientes a pesar de la baja ingesta de materia seca. En el Cuadro 3 podemos observar el efecto positivo de un alimento con una alta digestibilidad y el consumo de este alimento (Tolpis et al., 1995).

Cuadro 3 Efecto de la digestibilidad de dieta % sobre el consumo de alimento en lechones de 10 kg (Tolplis et al 1995)

| Digestibilidad de dieta% | Consumo promedio por día g/día |
|--------------------------|--------------------------------|
| 85 | 870 |
| 80 | 650 |
| 75 | 520 |

Un factor limitante en la dieta post-destete es la fuente proteínica ya que uno de los ingredientes por excelencia en la alimentación animal como fuente de esta es la pasta de soya ya que aporta un perfil de aminoácidos adecuado para los requerimientos de los animales y es de las proteínas vegetales más digestibles (Rist et al., 2013). Sin embargo, esta contiene factores anti nutricionales que limitan la inclusión en la alimentación para el lechón (Barreiro et al., 2006) y se utiliza en un máximo de 10% a 15% de la dieta (Campabadal., 2009). Algunos de los factores anti nutricionales son inhibidores de tripsina, isolectinas hemaglutinantes, taninos y proteínas antigénicas; todas estas afectan de diferente manera causando enfermedades metabólicas y digestivas, incidiendo en la respuesta inmune, reduciendo la absorción y digestibilidad de los nutrientes y retrasando el crecimiento del animal (Bajpai et al., 2005; Gilani et al., 2005).

Otro factor importante es el consumo de energía que de la misma manera que el proteínico, está limitado por la ingesta alimenticia. Lechones con un peso de 8 kg al destete necesitan un consumo diario de 5.75 MJ/día de energía metabolizable (NRC., 2012). Lawlor, P.G et al., 2020 expresa el reto de la siguiente manera: Si se logra un buen consumo de 220 g/d durante la primera semana post-destete de un alimento que aporte 16 MJ/kg, se obtendrá un consumo al día de 3.5 MJ de energía metabolizable. Con esta alimentación se alcanza solamente el 55% del consumo de la energía metabolizable que predice la NRC (2012). Para alcanzar los requerimientos calculados con el mismo consumo se necesitaría un alimento que proporcione 23 MJ/Kg de energía metabolizable o aumentar el consumo de materia

seca por 400g/día de un alimento que aporta 16 MJ/Kg de energía metabolizable. Sin embargo, el consumo promedio aceptable para la primera semana post-destete es de 200 a 250g/día. En el Cuadro 4 se puede observar la dificultad para alcanzar el consumo de energía predicho por la NRC (2012) y es destacable observar que aun teniendo consumos por arriba de los 400 g/día en la semana 2 post-destete, solo se alcanza a cubrir con un 84% del consumo de energía propuesto. No es sino hasta la semana 3 post-destete que se alcanza dicho parámetro.

Cuadro 4 Consumo promedio de energía según el consumo de alimento y su densidad energética, comparación con lo predicho por NRC, 2012. (Lawlor, P.G et al., 2020).

| Semana post-detete | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-----|------|------|------|
| Dieta (MJ ME/kg) | 16 | 15 | 15 | 14.2 |
| Consumo diario (g/día) | 220 | 450 | 700 | 1000 |
| Consumo de energía (MJ ME/día) | 3.5 | 6.8 | 10.5 | 14.2 |
| Ganancia diaria de peso (g/día) | 200 | 375 | 560 | 714 |
| Peso inicial (kg) | 8 | 9.4 | 12 | 15.9 |
| Peso final (kg) | 9.4 | 12 | 15.9 | 20.9 |
| Peso promedio (kg) | 8.7 | 10.7 | 14 | 18.4 |
| Consumo de energía NRC (MJ ME/día) | 6.4 | 8.1 | 10.5 | 12.9 |
| Consumo de energía según lo calculado (%) | 55 | 84 | 100 | 110 |

En resumen, el autor Lawlor, P.G (2020) expresa que es simplemente imposible, comercialmente, llegar a cubrir los requerimientos del lechón en la primera semana

post-destete.

La pérdida de ganancia de peso durante las semanas posteriores a la separación madre-hijo no se recupera hasta los siguientes 7-10 días, o inclusive más, después del destete. La recuperación del peso perdido durante los días de destete es de suma importancia para el productor; esto se debe a que dicha pérdida de volumen afecta y se refleja hasta la etapa final del cerdo en la producción. Así, los puntos críticos se reflejan en el peso al destete y la ganancia diaria de masa corporal después de éste. Por ejemplo, si logramos que los lechones mantengan su peso después de la primera semana post-destete, se espera que lleguen a su kilataje final en 178 días, mientras que, si se logra una ganancia diaria de al menos 115 g/d en la primera semana post-destete, se podrá reducir en 15 días el tiempo para alcanzar el peso final. En la primera semana post-destete, una diferencia de 0.9 kg de ganancia se transforma en 12 kg de diferencia en el peso final al momento del sacrificio (Pollman., 1993).

Tokach et al., 1992, demostró que lechones con una ganancia de peso de 225g/d durante la primera semana post-destete, en comparación con aquellos que solo se mantienen, obtienen una diferencia de 1.6 kg al final de esa primera semana y estos mismos lechones llegaron a su peso final a los 156 días, teniendo una diferencia de 8 kg en comparación a los que solo mantuvieron su peso durante la primera semana post-destete.

2.2 Estrategias en la alimentación de lechones en destete

Actualmente las estrategias para evitar los efectos adversos que se encuentran en el manejo del destete temprano son dirigidas a la alimentación, la búsqueda de nuevos ingredientes, pretratamientos, sustancias bioactivas, todos enfocados a tener nutrientes de mayor digestibilidad. Deng, Z et al., 2023 obtuvo resultados positivos para aumentar los niveles de inclusión de la soya y reemplazar la proteína de origen animal al tratar de eliminar los factores anti nutricionales de la soya haciendo un pretratamiento enzimático y otro de fermentación con *Lactobacillus*.

Resultados similares obtuvo Tang, J., et al., 2023 quien también evaluó los efectos al utilizar soya fermentada o con una hidrólisis enzimática en la digestibilidad de nutrientes de lechones recién destetados.

Nisley, M.J., 2023 utiliza metabolitos fermentativos de proteína para incrementar la proteína cruda en la alimentación de lechones destetados sin aumentar la diarrea. Compuestos bioactivos como trigonelina, eugenol, timol, sabinena y cuminaldehído se han probado como una alternativa viable para la reducción de antibióticos (Alagbe, J. O. et al., 2024).

Otra alternativa que se ha explorado es buscar y obtener nuevos ingredientes a partir de desperdicios agroindustriales. Esta tendencia permite obtener insumos de alta calidad nutricional a un menor valor económico y ayuda a reducir costos en la producción porcícola. Magklaras, G. et al., 2023 evalúa un ensilado a partir de desperdicios provenientes de las industrias de la fabricación del aceite de oliva, el vino y el queso, con los cuales no se detectó ningún efecto negativo en el crecimiento de los lechones destetados e incluso encontraron algunas sustancias bioactivas favorables provenientes del ensilaje.

La larva de *Hermetia Illucens*, por su nombre común mosca soldado negra (LMSN), ha despertado gran interés entre los insectos que se presentan como un potencial ingrediente para la alimentación en animales de producción. Dentro de sus ventajas se encuentra su rápido ciclo de vida, la facilidad y rapidez con la cual se puede alimentar de cualquier residuo orgánico y transformarlo en biomasa con características deseables como un alto contenido de proteína, grasa, minerales y vitaminas para ser utilizada como fuente de alimento para animales como peces, gallinas o cerdos (M.E. Abd. et al., 2020), (Spranghers, et al., 2017), (Newton et al., 2005). Se considera un insumo altamente sustentable ya que las larvas son criadas en material orgánico en descomposición y generan un menor impacto medioambiental en comparación a fuentes de proteína tradicionales (Meneguz, et al., 2018). La ventaja económica es un aspecto importante para considerar a la harina de LMSN como un potencial ingrediente en las dietas animales. Si se estima una producción de 85,070 kg de estiércol en materia seca por cada 1000 cerdos en

crecimiento durante 110 días y se calcula que la larva puede convertir entre un 12 a 16% del residuo a biomasa, entonces los 85,070 kg de estiércol pueden producir 10,208 kg de larva seca, tomando en cuenta un precio similar al de la harina de pescado o de la harina de soya se tendría un valor entre \$3,993 dólares y \$3,485 dólares respectivamente en la venta de la harina LMSN (Newton et al., 2005). La composición nutricional de la LMSN varía dependiendo del sustrato donde se alimentó, el porcentaje de proteína cruda puede variar desde un 30% hasta 60%, de la misma manera el contenido de grasa varía entre 40 hasta 6% (Barragán-Fonseca et al., 2016). La composición nutricional de la harina de LMSN se muestra en el Cuadro 5 según lo reportado por Newton et al., 1997 y se compara con la composición química de la harina de soya y la de pescado (FEDNA, 2019). En el Cuadro 6 se muestra la composición de ácidos grasos en la harina de pescado y la harina de LMSN (Hender, 2021).

Cuadro 5 Composición nutricional de las harinas de larva de mosca soldado negra, soya y pescado

| Nutriente % | Larva de mosca soldado-deshidratada (Newton et al., 1997) | Harina de Soya (FEDNA, 2019) | Harina de pescado (FEDNA, 2019) |
|-----------------|---|------------------------------|---------------------------------|
| Proteína cruda | 42.1 | 44.0 | 70 |
| Extracto etéreo | 34.8 | 1.9 | 9.5 |
| Fibra cruda | 7.0 | 5.9 | 0.4 |
| ELN | 1.4 | - | - |
| Cenizas | 14.5 | 6.2 | 12.5 |

Cuadro 6 Composición de ácidos grasos en larva de mosca soldado negra y harina de pescado (Hender et al., 2021)

| Composición de ácidos grasos (g/100g) | Larva Mosca soldado negra | Larva Mosca soldado negra parcialmente desgrasada | Harina de pescado |
|---------------------------------------|---------------------------|---|-------------------|
| C12:0 | 53.81 | 47.29 | 0.09 |
| C:14 | 8.87 | 8.55 | 2.91 |
| C14:1n-5 | 0.15 | 0.16 | - |
| C16:0 | 20.47 | 14.05 | 18.67 |
| C16:1n-7 | 6.21 | 4.41 | 5.43 |
| C18:0 | 4.65 | 3.10 | 4.35 |
| C18:1n-9 | 23.37 | 10.58 | 26.10 |
| C18:3n-3 | 5.17 | 0.97 | 3.28 |
| C20:2 | 0.12 | - | 0.17 |

2.3 Uso de larva de *Hermetia Illucens* en la alimentación de cerdos

La incorporación de nuevas estrategias alimenticias se ha vuelto imperativa en la búsqueda de soluciones efectivas para los problemas asociados con el destete. Desde el empleo de ingredientes altamente digestibles hasta la exploración de sustancias bioactivas, la industria porcina está constantemente evolucionando para mejorar la salud y el rendimiento de los lechones destetados.

En este contexto dinámico, ha surgido un enfoque innovador que ha captado la atención de los investigadores y productores: la inclusión de larva de mosca soldado negra en la dieta de lechones destetados. Este enfoque, respaldado por investigaciones en curso, promete abordar tanto los desafíos nutricionales como las

preocupaciones ambientales asociadas con la producción porcina.

Un estudio realizado con el uso de LMSN para reemplazar parcial o completamente la harina de pescado en cerdos de finalización aumentó la ganancia diaria promedio, el peso corporal final y el peso de la canal fueron significativamente mayores en los grupos suplementados al 50% y al 100% en comparación con los grupos no suplementados y suplementados al 25%. Sin embargo, el índice de conversión alimenticia de la dieta suplementada con LMSN fue significativamente menor que la del grupo no suplementado (Chia, et al., 2021).

Estudios que incluyen la harina LMSN en la etapa de lechón post-destete ya se han hecho. Se ha evaluado el crecimiento, la morfología intestinal y la respuesta inmunológica con dietas de 25% y 50% de harina de LMSN, donde no se observó ninguna diferencia significativa entre dietas con respecto a la ganancia de peso, morfología intestinal e índices del funcionamiento del sistema inmunológico (Crosbie, et al., 2021). Otro estudio sobre el lechón alimentado con LMSN hasta en un 60%, demostró que no hay cambios significativos en el desempeño del lechón en comparación con dietas convencionales. Incluso se observó un aumento en la ingesta diaria de alimento (Biasato et al., 2019). Driemeyer et al., 2016 suplementó un 3.5% de LMSN en la dieta de los lechones sin afectar la ganancia diaria promedio, el consumo de alimento diario y la digestibilidad. Un resultado similar se obtuvo por Ipema et al., 2021, quienes encontraron que la suplementación con LMSN no afectaba la ganancia diaria promedio ni el peso corporal final de los lechones, ni tampoco afectaba su eficiencia en la conversión de alimento y la eficiencia energética, y tenía un efecto sobre la diarrea de los lechones. Yu et al., 2019 demostraron que la suplementación con un 4% de LMSN aumentó la abundancia de bacterias benéficas en el intestino como lactobacilos, mientras que disminuyó la abundancia de estreptococos. Phaengphairee, P. et al., 2023 utilizó la LMSN con probióticos para evaluar el crecimiento de lechones, la salud intestinal y el efecto antioxidante en comparación con el uso de antibióticos. La inclusión de harina de LMSN es una estrategia de gran interés en la alimentación de lechones.

Este ingrediente despierta gran interés por su importante contenido de proteína de calidad y ácidos grasos benéficos y aprovechables. Los insectos son capaces de alimentarse de desperdicios agroindustriales por lo que los hace un insumo amigable con el medio ambiente. También se ha visto que contienen sustancias bioactivas que son capaces de reducir las bacterias que afectan la digestión de nutrientes y que causan diarrea. Estas sustancias bioactivas provocan la proliferación de bacterias benéficas para el sistema digestivo (An, J, et al., 2023). Si bien estos estudios proponen la inclusión de la LMSN como una alternativa en la dieta del cerdo, no se sabe aún cual es el efecto que tiene al hacer una sustitución completa de la soya que se encuentra en el alimento sobre el balance energético y su digestibilidad, en especial en la etapa de lechón post-destete.

3. HIPÓTESIS

Debido a su composición nutrimental, la larva de mosca soldado negra como reemplazo de la pasta de soya en la dieta de lechón post-destete aportará al requerimiento de energía para esta etapa. Además, tendrá una digestibilidad al menos igual a la de un alimento convencional; de tal manera que los lechones alcanzarán los valores productivos de referencia esperados en la etapa post-destete.

4. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y evaluar un alimento balanceado para lechón post-destete a partir de larva de mosca soldado negra capaz de cubrir las necesidades energéticas y nutrimentales requeridas en la fase post-destete.

4.1 Objetivos específicos

- Caracterizar la composición bromatológica de las harinas necesarias para la elaboración de las dietas para lechón post-destete.
- Formular, conforme al aporte nutricional de cada ingrediente, y obtener un alimento cumpliendo una inclusión del 21% de proteína cruda en la dieta.
- Monitorear y evaluar el desempeño en los parámetros productivos, así como el aporte energético en el lechón de las diferentes dietas suministradas con inclusión de larva de mosca soldado negra.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Descripción general

El presente proyecto se desarrolló en tres etapas fundamentales, cada una desempeñando un papel crucial en la evaluación y validación de las dietas experimentales. A continuación, se describe cada una de estas etapas:

En la primera etapa de la investigación, se llevó a cabo un balanceo teórico de las dietas experimentales planificadas. Esta fase implicó la evaluación de los requerimientos nutricionales específicos y la obtención de ingredientes que conformaron las dietas de estudio. Además, se realizó un análisis bromatológico (determinación de humedad, cenizas, grasas totales y proteína cruda) de todos los insumos utilizados, con el objetivo de obtener datos precisos sobre su composición química y características fundamentales. Los resultados de estos análisis de laboratorio sirvieron como base para la formulación precisa de las dietas experimentales, asegurando una composición nutricional adecuada de estas, con base a los requerimientos nutricionales propuestos por el National Research Council (NRC) of the United States National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine , Nutrient Requirements of Swine (2012).

La segunda etapa del proyecto se centró en la elaboración de los alimentos experimentales. En esta fase, se mezclaron los ingredientes seleccionados siguiendo las proporciones previamente calculadas con base en los resultados obtenidos por los análisis de laboratorio. Para lograr una homogeneidad óptima, se utilizó una máquina peletizadora. Una vez que los alimentos experimentales estuvieron listos, se procedió a realizar un análisis bromatológico adicional para garantizar que cumplieran con los estándares de calidad y contenido nutricional esperados.

La última etapa del proyecto se enfocó en la validación de los alimentos

experimentales. Para llevar a cabo esta validación, se emplearon lechones destetados como sujetos de prueba. Durante este proceso, se midió el desempeño productivo de los lechones, registrando datos clave relacionados con su crecimiento y rendimiento. Además, se realizó una evaluación de la digestibilidad de cada dieta experimental, permitiendo una comprensión más profunda de la asimilación de nutrientes. Finalmente, se condujo un análisis estadístico de los resultados obtenidos en el desempeño productivo y en los estudios de digestión. Esta evaluación estadística proporcionó una base para la interpretación de los hallazgos y la validación de las hipótesis planteadas en este proyecto de investigación. En la

Figura 4 se muestra el diagrama del proyecto.

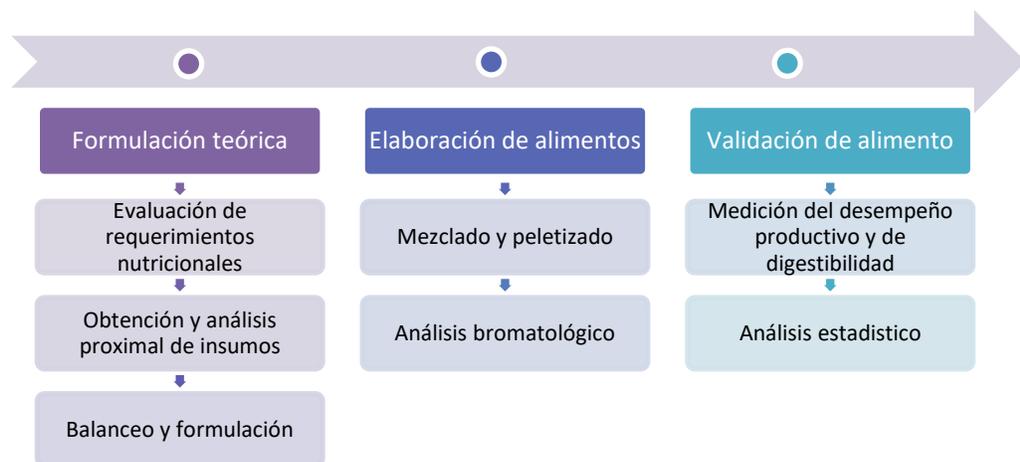


Figura 4 Diagrama general del proyecto dividido en tres etapas.

5.2 Formulación teórica

5.2.1 Obtención y caracterización de harinas

La LMSN se obtuvo de la planta piloto de producción de Mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) ubicada en el Campus Amazcala de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. La reproducción de la mosca se realizó dentro de instalaciones y bajo condiciones ambientales controladas, para la alimentación de la LMSN se utilizó una dieta estándar Gainesville para la cría de insectos (Hogsette, et al., 1992), lo que permite obtener una harina de LMSN con características nutricionales conocidas y controladas.

La caracterización fisicoquímica de la LMSN y de los ingredientes que se utilizaron en los diferentes tratamientos se llevó a cabo en el Laboratorio de Bromatología del Campus Amazcala de la Universidad de Querétaro. Los análisis y métodos realizados fueron:

- Determinación de humedad y cenizas totales: en la determinación de humedad se realizó el método reportado por la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-211-SSA1-2002, se registró el peso fresco de la muestra a analizar, posteriormente fue colocada en una estufa de convección forzada marca Memmert a una temperatura de 100°C durante 24 horas. Una vez seca, la muestra se pesó para determinar el contenido de humedad que se eliminó por diferencia de pesos entre el primer peso registrado y el segundo.

La determinación de cenizas totales se realizó por el método de la norma NMX-F-066-S-1978. Las muestras fueron incineradas a 500°C en una mufla marca Felisa durante seis horas. Posteriormente se enfriaron en un desecador por dos horas aproximadamente para registrar su peso final. El porcentaje de ceniza se hizo calculando la diferencia entre el peso final y el inicial.

- Determinación de grasas totales: el análisis de grasas se realizó por medio de una extracción Soxhlet asistida con microondas marca Anton Paar, según el método EPA 3546. Se utilizó una solución extractora hexanos y acetona (1:1) para después obtener el contenido de grasas por gravimetría, una vez que el solvente residual fue evaporado.
- Determinación de calorías: se utilizó el método isoperibólico para la determinación del contenido de calorías, la muestra se empleó seca en un horno a 30°C de temperatura, la muestra de 1 g se introdujo en un calorímetro marca PARR modelo 6200 para su determinación final.
- Proteína cruda: en la obtención del porcentaje de proteína cruda se realizó la determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldahl. La muestra seca se sometió a una digestión ácida con ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrogeno grado reactivo 30%. La determinación de nitrógeno total sobre las muestras después de la digestión se hizo por el método espectrofotométrico Nessler (Método HACH 8075, 2010) con un espectrofotómetro DR/6000, HACH Company. Finalmente, la proteína cruda se calculó utilizando el factor 6.25 establecido para alimentos.
- Carbohidratos totales: las muestras previamente secadas y molidas, se sometieron a hidrólisis con HCl 2.5 N, posteriormente se colocaron durante tres horas en baño maría, se centrifugaron las muestras y se obtuvo un sobrenadante el cual se conservó para colocarlo a baño maría frío y finalmente se añadió solución de antrona. Como estándar, en el análisis se realizó una curva de calibración con glucosa y se determinó la concentración a 630 nm en placa con un Multiskan marca

Thermo Scientific. A partir de la ecuación generada por la curva de glucosa se calculó la concentración de carbohidratos de la muestra.

El análisis para la determinación de aminoácidos se llevó a cabo en un laboratorio especializado al cual se enviaron las muestras necesarias para su procesamiento bajo el método reportado como INS-SM/US-260.

De igual manera el contenido de fibra se llevó a analizar a un laboratorio el cual trabajó bajo un método interno basado en: "Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF, AND IVDMD forage analysis, Crop Sci. 39:276-279(1999)".

5.2.2 Balanceo de dietas

Se eligieron los ingredientes que conformarían las dietas experimentales para cumplir con los requerimientos nutricionales y energéticos reportados por el NRC, Nutrient Requirements of Swine (2012). Se hizo una fórmula preliminar de las dietas experimentales según la composición química y los límites de inclusión de los ingredientes reportado por la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 2019).

Se realizaron tres dietas (Cuadro 7), las cuales se conformaron por diferentes fuentes de proteína. La dieta control en donde el aporte proteico principal proviene de la inclusión de pasta de soya, las otras dos dietas experimentales se formularon para lograr una sustitución completa de la pasta de soya por harina de LMSN entera o parcialmente desgrasada, todas las dietas fueron isoproteicas, por lo que principalmente se caracterizó la harina LMSN y se comparó con la pasta de soya. Adicionalmente las dietas contenían harina de pescado, harina de maíz y suero de leche como fuente de energía.

Con los datos obtenidos se hizo el balance teórico de porcentajes de inclusión y composición nutrimental de los ingredientes (Cuadro 7), tomando en cuenta las características nutricionales que se muestran en el

Cuadro 8 en el cual se consideraron los requerimientos nutricionales para lechones post-destete propuestos por NRC., 2012 para establecer las características

| Nutriente | |
|------------------------------|-------|
| Materia seca (%) | 90 |
| Proteína cruda (%) | 21 |
| Extracto etéreo (%) | 5 |
| Energía digestible (Kcal/kg) | 3,500 |

nutricionales a alcanzar dentro de las dietas experimentales.

Cuadro 7 Balanceo teórico de las dietas experimentales niveles de inclusión y su composición química

| Ingrediente (g/kg) | D1 ¹ | D2 ² | D3 ³ |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Harina de Maíz | 47.1 | 47.1 | 50.9 |
| Suero de leche | 24.7 | 24.7 | 24.7 |
| Pasta de soya | 15 | - | - |
| Harina LMSN | - | 16.5 | - |
| Harina LMSND | - | - | 12.5 |
| Harina de pescado | 9.2 | 9.2 | 9.2 |
| Aceite de maíz | 1.5 | - | 0.2 |
| Minerales y Vitaminas | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| TiO ² | 3 | 3 | 3 |
| Análisis químico (%) | | | |
| Materia seca | 90.30 | 90.49 | 90.54 |
| Cenizas | 8.59 | 9.67 | 9.20 |
| Proteína bruta | 18.58 | 18.67 | 18.60 |
| Extracto etéreo | 4.98 | 8.22 | 5.05 |
| ED (Kcal/Kg) | 3,451 | 3,511 | 3,399 |

¹D1=Dieta Control pasta de soya, ²D2= Dieta con harina de larva de mosca soldado,

³D3= Dieta con harina de larva de mosca soldado parcialmente desgrasada

Cuadro 8 Características nutricionales de las dietas experimentales, establecidas según los requerimientos de NRC., 2012 para lechón post-destete

| Nutriente | |
|------------------------------|-------|
| Materia seca (%) | 90 |
| Proteína cruda (%) | 21 |
| Extracto etéreo (%) | 5 |
| Energía digestible (Kcal/kg) | 3,500 |

5.3 Elaboración de alimentos experimentales

Las tres dietas experimentales se conformaron por una base de tres ingredientes: maíz, suero de leche y harina de pescado (Imagen 1). Los ingredientes que conformaron la dieta D1, D2 y D3 se pueden observar en la Imagen 2, Imagen 3 e Imagen 4 respectivamente.

Después de hacer un balance de ingredientes y nutrientes en las diferentes dietas al probar y obtener los resultados de los análisis bromatológicos, se procedió al mezclado de las harinas de acuerdo con los porcentajes de inclusión previamente establecidos. Se utilizó una batidora industrial de 20 L y se añadió agua purificada hasta llegar a 20% de humedad en la mezcla. Posteriormente se introdujo la mezcla en una peletizadora rotativa con dos rodillos de fricción y una matriz para obtener pellets de 4 mm de diámetro. Los pellets fueron secados en horno a 60°C durante 24 horas, posteriormente se dejaron enfriar para ser almacenados en tambos nuevos de 200 L con tapadera. Se le realizó un último análisis bromatológico a cada una de las dietas experimentales para obtener la composición nutrimental de los alimentos finales después del proceso de elaboración y asegurar que estas cumplieran con los requerimientos nutricionales de los lechones.



Imagen 1 Ingredientes base dentro de las dietas experimentales (izquierda: maíz molido; derecha: suero de leche; abajo: harina de pescado)



Imagen 2 Composición de ingredientes de Dieta 1 (de arriba hacia abajo: maíz molido, suero de leche, harina de pescado y pasta de soya)



Imagen 3 Composición de ingredientes de Dieta 2 (de arriba hacia abajo: maíz molido, suero de leche, harina de pescado, harina de larva de mosca soldado negra entera)



Imagen 4 Composición de ingredientes de Dieta 3 (de arriba hacia abajo: maíz molido, suero de leche, harina de pescado, harina de larva de mosca soldado negra parcialmente desgrasada)

5.4 Validación de dietas experimentales

5.4.1 Localización

El experimento se realizó en las instalaciones del campus UAQ Amazcala, en la unidad experimental porcícola del laboratorio de Bioingeniería. Los análisis de las muestras se realizaron en el laboratorio de bromatología de Bioingeniería de la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. Todo el proceso experimental fue aprobado previamente por el comité de bioética de la Universidad Autónoma de Querétaro.

5.4.2 Animales y alojamiento

Se utilizaron 30 lechones Yorkshire x Landrace (3 bloques de 10 lechones cada uno) destetados a los 17 ± 1 días de vida, con un peso de 5.7 ± 0.5 kg, siendo inmediatamente trasladados a la unidad experimental donde fueron alojados. La unidad experimental se diseñó de acuerdo con el espacio proporcionado, ubicado dentro del Campus UAQ Amazcala $20^{\circ}42'14.9''N$ $100^{\circ}15'33.6''W$

Imagen 5. De igual manera, se tomaron en cuenta los cambios de temperatura registrados en la zona (Accuweather, Inc., 2023), los cuales se muestran en la Imagen 6. Para el diseño de un sistema de control de temperatura, en el acomodo de la unidad fue necesario considerar el mantener estabulados de manera individual a los 30 lechones. El diseño final se hizo por módulos los cuales se muestran en la Imagen 7, La unidad experimental completa se conformó por 8 módulos como se aprecia en la Imagen 8.



Imagen 5 Foto satelital de la ubicación donde se construyó la unidad experimental

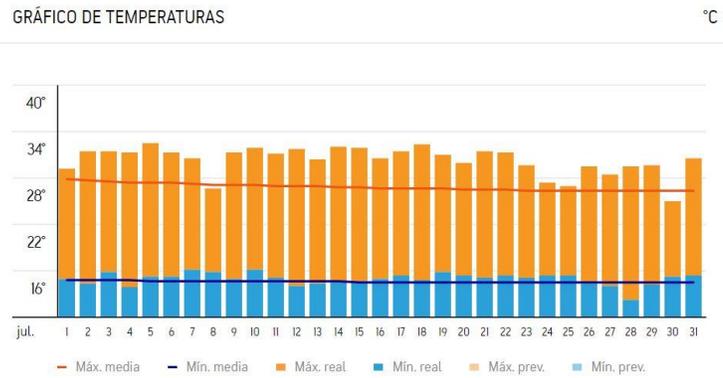


Imagen 6 Registros de temperatura en la zona de El Marqués Querétaro durante el mes de Julio (Accuweather, Inc., 2023)

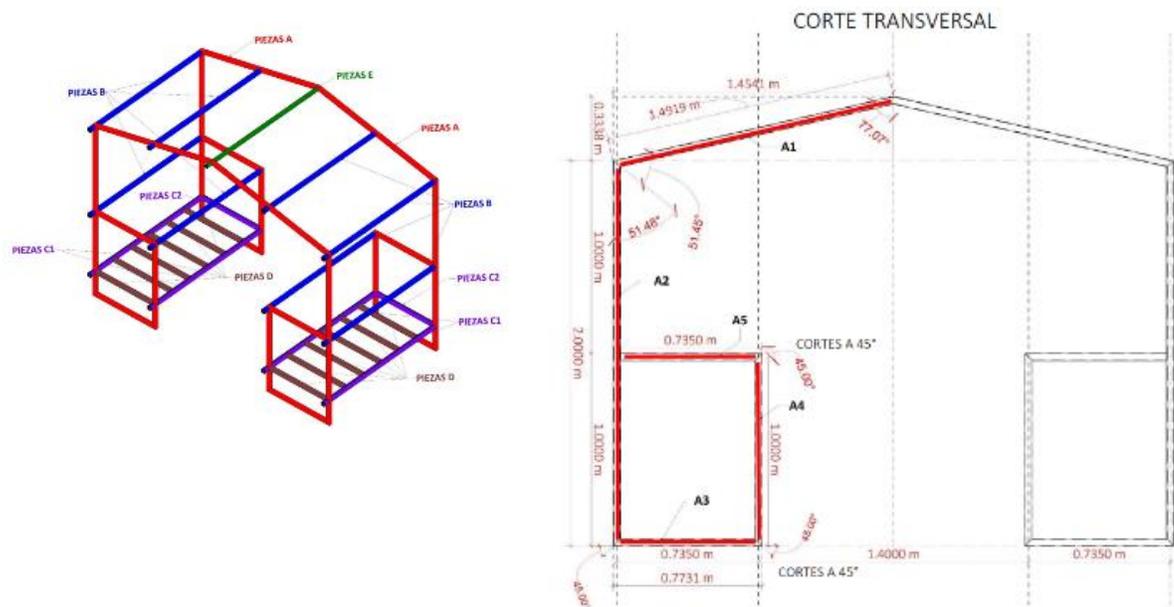


Imagen 7 Diseño por módulo de la unidad experimental y sus dimensiones

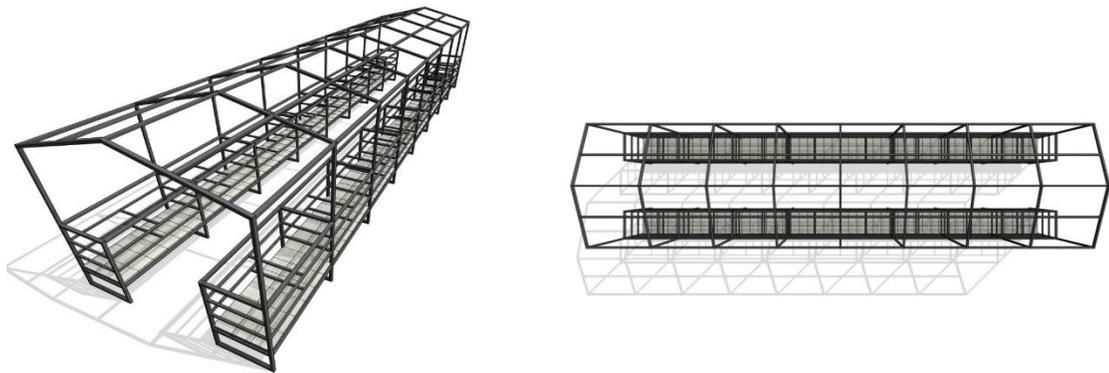


Imagen 8 Diseño general de la unidad experimental

5.4.3 Suministro de tratamientos

Se evaluaron 3 tratamientos experimentales, una dieta control (D1) de la cual el

aporte proteico proviene principalmente de la pasta de soya; dos dietas con una sustitución completa en ambas de la pasta de soya por harina de LMSN. Una de ellas contiene harina de LMSN entera (D2) y la otra contiene harina de LMSN parcialmente desgrasada (D3).

- (D1) Dieta Control: 15% Pasta de soya
- (D2) Dieta LMSN: 16.5% Harina de larva de mosca soldado negra entera
- (D3) Dieta LMSND: 12.5% Harina de larva de mosca soldado negra desgrasada

Las tres dietas se formularon tomando en cuenta los requerimientos nutricionales propuestas en NRC (2012), todas fueron adicionadas con dióxido de titanio (TiO²) como marcador de digestibilidad.

Se recibieron los animales y permanecieron alojados durante 7 días como periodo de adaptación con alimento *ad libitum*. Una vez transcurridos los 7 días de adaptación, inició el periodo de evaluación el cual tuvo una duración de 14 días (Figura 5). Los animales se pesaron individualmente en los días 1, 7 y 14 del periodo de evaluación. Durante este lapso de evaluación, se ofreció diariamente el alimento en tres horarios: 7:00, 12:00 y 18:00 horas.

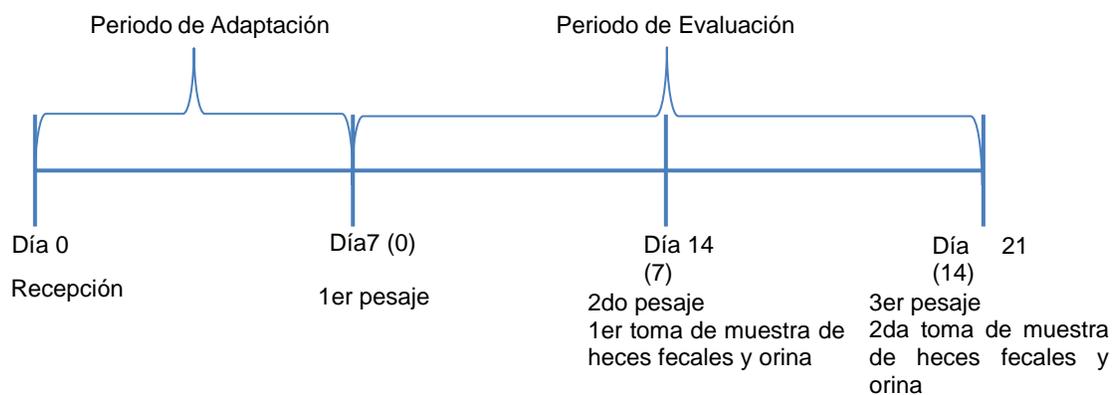


Figura 5 Esquema de actividades para recolección de datos

5.4.4 Colecta Fecal

Las muestras de heces, así como las de orina, se colectaron el día 7 y 14 del periodo de evaluación (Figura 5). Las heces fueron depositadas en bolsas herméticas y se

llevaron a congelación a -20°C.

5.4.5 Determinación de digestibilidad

El desempeño de los alimentos fue evaluado con base a la digestibilidad de los nutrientes. Se tomaron muestras del alimento en base seca, de las heces y de la orina de cada individuo para poder obtener el cálculo sobre la digestibilidad de: proteína bruta, extracto etéreo, fibra bruta y elementos libres de nitrógeno, así como digestibilidad total de nutrientes aparente.

Se evaluó también el desempeño del alimento con base a los aportes de energía, calculando el aporte de energía digestible, metabolizable y la retención de energía. La digestibilidad aparente se calculó por la relación entre los nutrientes y el marcador, el coeficiente de digestión se obtuvo en función del cociente entre cada uno de los nutrientes con respecto al marcador en las heces y en el alimento utilizando la siguiente fórmula:

CD nutriente =

$$100 - 100 \times \left(\frac{\% \text{indicador en alimento} \times \% \text{nutriente en heces}}{\% \text{indicador en heces} \times \% \text{nutriente en alimento}} \right) \quad (1)$$

La detección del marcador indigestible se hizo utilizando el método reportado por Jagger, S., et al., 1992.

5.4.6 Medición de las variables asociadas al desempeño productivo

Se registró el peso inicial de cada individuo, un peso intermedio y un peso final. De la misma manera, se obtuvo la cantidad de alimento suministrada y consumida por individuo para obtener el consumo de alimento diario por individuo, posteriormente

se hizo el cálculo de la ganancia diaria de peso, el consumo total y diario de alimento y la conversión alimenticia.

Las variables asociadas al desempeño productivo serán evaluadas con los siguientes cálculos:

- Supervivencia % =

$$\left(\frac{\text{Organismos finales}}{\text{Organismos iniciales}}\right)100 \quad (2)$$

- Ganancia de Peso % =

$$\frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso inicial}}100 \quad (3)$$

- Ganancia diaria de peso g/día =

$$\frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Días}} \quad (4)$$

- Consumo diario de alimento g/día =

$$\frac{\text{Cantidad total de alimento ingerido}}{\text{Días}} \quad (5)$$

- Tasa de Conversión Alimenticia (T.C.A.) =

$$\frac{\text{Cantidad total de alimento ingerido}}{\text{Ganancia de peso}} \quad (6)$$

La digestibilidad de los nutrientes y el aporte energético de la dieta será evaluada con los siguientes cálculos:

- Digestibilidad aparente de nutriente g =

$$g \text{ nutriente en alimento} - g \text{ nutriente en heces} \quad (7)$$

- Coeficiente de digestibilidad de nutriente %=

$$100 - \left[100 \times \left(\frac{\% \text{ marcador en heces}}{\% \text{ marcador en alimento}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ nutriente en heces}}{\% \text{ nutriente en alimento}} \right) \right]$$
 (8)

- Digestibilidad total aparente materia seca =

$$\frac{\text{marcador en heces} \left(\frac{g}{kg} \right) - \text{marcador en alimento} \left(\frac{g}{kg} \right)}{\text{marcador en heces} \left(\frac{g}{kg} \right)}$$
 (9)

5.4.7 Análisis e interpretación de los datos obtenidos

- Los datos obtenidos en la fase experimental serán analizados con el software estadístico Statgraphics Centurion, posteriormente serán interpretados mediante curvas y gráficas de frecuencia. El método empleado para discriminar entre las medias será ANOVA y Tukey como prueba post hoc, con un 95% de confianza. Anterior a esto se hizo una verificación de varianza utilizando la prueba de Levene con un 95% de confianza, para confirmar la normalidad de los datos.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Caracterización y formulación teórica de las dietas

Se obtuvo la composición química de la harina de LMSN en comparación con la pasta de soya. Los resultados se muestran en el Cuadro 9. La composición nutricional y principalmente su aporte de proteína, el cual fue de 41.1% en el caso de la harina de LMSN y 45% en la pasta de soya, permitió elaborar un balance teórico. De igual manera, el porcentaje de lisina era una posible limitante ya que es el aminoácido esencial más importante en la alimentación de lechones, sin embargo, los resultados fueron positivos ya que su aporte fue muy similar al de la pasta de soya.

Cuadro 9 Composición química y perfil de aminoácidos de la Harina de mosca soldado negra y la Pasta de soya

| Composición química | Harina de larva de mosca soldado negra | Pasta de Soya |
|---------------------|--|---------------|
| Humedad (%) | 9.75 | 10.6 |
| Materia seca (%) | 90.25 | 89.4 |
| Proteína Cruda (%) | 41.11 | 45 |
| Grasa (%) | 29.57 | 0.9 |
| Fibra Cruda (%) | 5.84 | 5 |
| Cenizas (%) | 12.21 | 6 |
| Aminoácidos | | |
| Lys (%) | 2.34 | 2.78 |
| Met (%) | 0.74 | 0.64 |
| Tre (%) | 2.3 | 1.78 |
| Trp (%) | 0.11 | 0.60 |
| Ile (%) | 3.6 | 2.05 |
| Val (%) | 4.73 | 2.17 |
| Arg (%) | 3.5 | 3.3 |

6.2 Elaboración de alimentos

Las dietas experimentales finales se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Los resultados obtenidos del análisis proximal para la composición nutricional de las dietas experimentales después de su elaboración se muestran en la Cuadro 10.

Cuadro 10 Composición nutricional y niveles de inclusión de las dietas experimentales

| Ingrediente (g/kg) | D1 ¹ | D2 ² | D3 ³ |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Harina de Maíz | 47.1 | 47.1 | 50.9 |
| Suero de leche | 24.7 | 24.7 | 24.7 |
| Pasta de soya | 15 | - | - |
| Harina LMSN | - | 16.5 | - |
| Harina LMSND | - | - | 12.5 |
| Harina de pescado | 9.2 | 9.2 | 9.2 |
| Aceite de maíz | 1.5 | - | 0.2 |
| Mix Minerales | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| Mix Vitaminas | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| L-lisina | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| TiO ² | 3 | 3 | 3 |
| Análisis químico (%) | | | |
| Materia seca | 92.32 | 91.86 | 91.94 |
| Cenizas | 10.11 | 11.44 | 11.15 |
| Proteína bruta | 21.33 | 21.81 | 21.36 |
| Extracto etéreo | 5.20 | 8.38 | 5.02 |
| Fibra ácido detergente | 3.11 | 3.36 | 3.77 |
| Fibra neutro detergente | 6.69 | 10.05 | 9.22 |
| Carbohidratos no estructurales | 56.67 | 48.32 | 53.25 |
| ED (Kcal/Kg) | 3,588 | 3,559 | 3,436 |

¹D1=Dieta Control pasta de soya, ²D2= Dieta con harina de larva de mosca soldado negra entera, ³D3= Dieta con harina de larva de mosca soldado negra parcialmente

desgrasada

6.3 Construcción de unidad experimental

Se construyó la unidad experimental dentro del Campus UAQ Amazcala 20°42'14.9"N 100°15'33.6"W. La unidad experimental tuvo la capacidad de alojar 32 lechones en jaulas individuales de 0.5 m² por lo que los 30 lechones utilizados en la prueba de digestibilidad estuvieron estabulados de manera individual (Imagen 9). Se utilizó como material para la estructura PTR y Perfiles P-150 y para el piso se utilizaron *slats* plásticos que permitieran la separación de las heces fecales y la orina. El módulo diseñado consistió en 16 jaulas elevadas a 0.3 m del suelo, con una altura de 0.7 m, un ancho y largo de 0.73 m y 0.71 m respectivamente, seguido de un pasillo intermedio de 1.4 m de ancho para facilitar el manejo dentro de la unidad. Y por último otras 16 jaulas con las mismas características anteriormente mencionadas.

Los animales estabulados requerían de un suministro agua potable en todo momento por lo que se instaló un sistema de tuberías para proporcionar agua fresca a cada una de las jaulas de manera individual, mediante bebederos de chupón. También de manera individual, cada jaula contó con un comedero y una bandeja de recolección de heces y orina por separado para permitir obtener registros de consumo y rechazo de alimento de manera individual (Imagen 10). Debido a los cambios de temperatura registrados en la zona donde se ubicó la unidad experimental, se instaló dentro de la unidad un sistema de control ambiental automatizado (Imagen 11), el cual operaba para mantener una temperatura entre los 28°C y 30°C.



Imagen 9 Unidad experimental, donde se albergaron los 30 lechones durante la prueba de digestibilidad



Imagen 10 Unidad experimental con sistema de bebederos de chupón y comederos individuales



Imagen 11 Sistema automatizado de control de temperatura

6.4 Efecto de las dietas experimentales en el desempeño productivo

6.4.1 Pesos

Los pesos promedios iniciales por dieta y los siguientes pesos promedios registrados a lo largo de la etapa experimental se pueden observar en la Cuadro 11.

Cuadro 11 Pesos registrados de los lechones por tratamiento a lo largo de la experimentación.

| | Peso (kg) Tratamientos | | |
|--------------|---------------------------|-------------|------------|
| | D1 | D2 | D3 |
| Peso inicial | 6.040 ±1.66 | 5.512 ±1.82 | 5.642±0.75 |
| Día 3 | 6.277 ±1.79 | 5.786 ±1.84 | 6.201±1.10 |
| Día 7 | 7.347 ±2.14 | 6.599 ±2.06 | 6.889±1.11 |
| Día 10 | 8.124 ±2.36 | 7.185 ±2.01 | 7.445±1.28 |
| Día 14 | 9.248 ±2.50 | 7.965 ±2.20 | 8.103±1.25 |

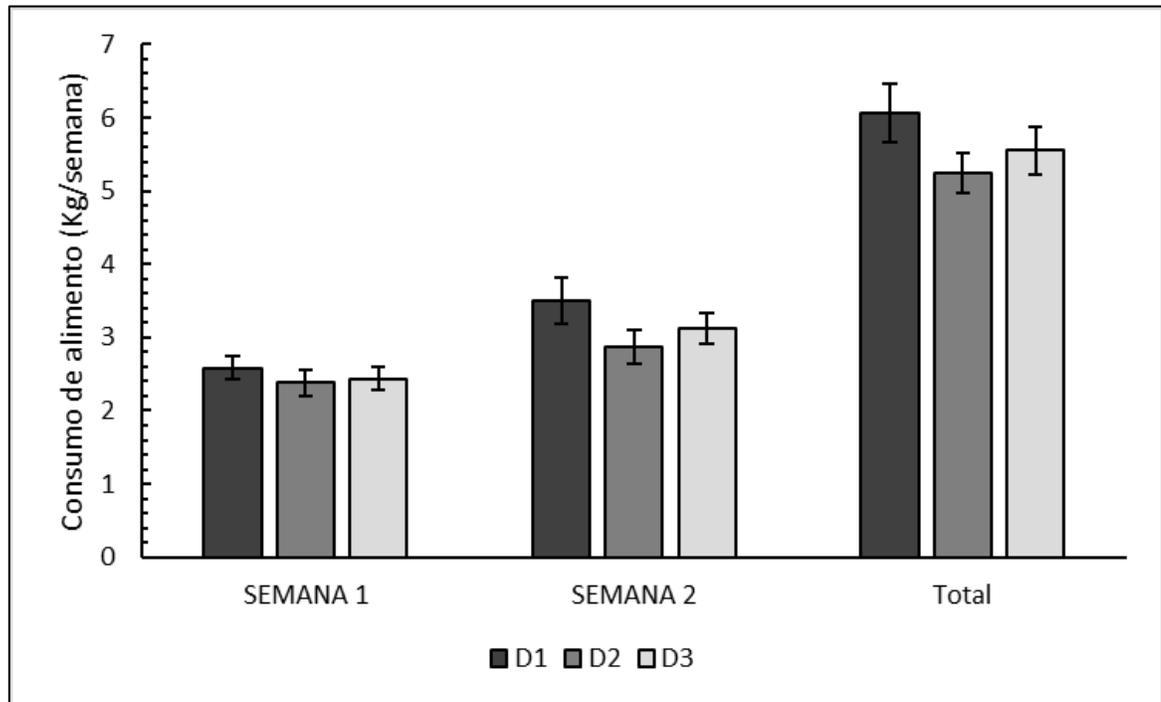
Valores promedio n=10
± Desviación estándar

Se observó una tendencia creciente en los pesos a lo largo de los días. Los lechones de la dieta D1 mostraron el mayor aumento de peso, seguidos por los de la dieta D3, mientras que los de la dieta D2 tuvieron pesos consistentemente más bajos a lo largo de los días de experimentación. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las dietas, en ninguno de los pesos registrados a lo largo de los días ($p < 0.05$). Estos pesos registrados coinciden con los reportados por Crosbie et al., 2021 en donde dos dietas sustituyen 25% y 50% de la proteína animal con LMSN entera.

6.4.2 Consumo de alimento

Los consumos de alimento durante la primera semana de experimentación fueron inferiores a la segunda semana, lo que nos indica una adaptación positiva al alimento por parte de las tres dietas. La dieta D1 mantuvo un mayor consumo a lo largo de las dos semanas y a pesar de las diferencias notables en el consumo de alimento entre las dietas, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos ($p < 0.05$). En total, se registró un consumo promedio de 6.07 ± 0.39 kg de alimento para la dieta D1; 5.25 ± 0.27 kg para

la dieta D2; y $5.55 \pm 0.32\text{kg}$ para la dieta D3, sin ninguna diferencia entre ellas ($p < 0.05$). Los consumos de alimento por semana y a lo largo de la experimentación



se muestran en la

Figura 6.

Figura 6 Consumo promedio de alimento por semana de las dietas experimentales y consumo total de alimento durante toda la etapa de experimentación por tratamiento (kg/semana)

El comportamiento anterior se ve reflejado también en el consumo diario de alimento entre la semana 1 y la semana 2, en donde todos los tratamientos tuvieron un mayor consumo de alimento diario durante la semana 2. Los consumos de alimento diario se muestran en la Figura 7. Al igual que en el consumo de alimento por semana, el consumo diario de alimento por lechón fue mayor para la dieta D1 seguido por la dieta D3 y por último la dieta D2. Este comportamiento se mantuvo a lo largo de todo el periodo de experimentación, sin embargo, en ningún momento se presentó ninguna diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los tratamientos ($p < 0.05$). Por lo contrario, en estudios anteriores Biasato et al., 2019 sí

encontró una tendencia positiva en el consumo diario de alimento con niveles crecientes de inclusión de LMSN sustituyendo la harina de soya en 0%, 30%, y 60%, atribuyendo este efecto a una favorable palatabilidad de la harina de insecto.

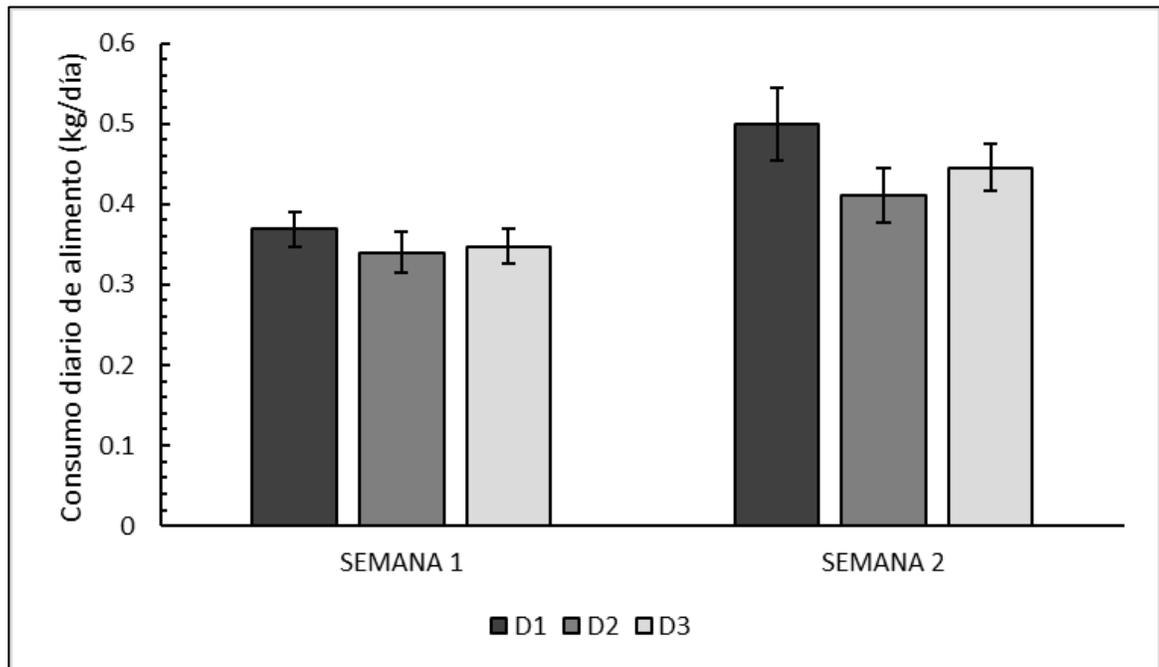


Figura 7 Consumo diario de alimento durante la semana 1 y 2 de prueba con dietas experimentales por tratamiento (kg/día)

Durante la primera semana, los lechones pueden estar ajustándose a la nueva dieta, explorando los alimentos y adaptándose a los cambios en la composición nutricional. Este período inicial puede generar una menor ingesta. Sin embargo, a medida que se acostumbran a la dieta, su consumo tiende a aumentar en las semanas siguientes. La diferencia de los consumos entre las dietas podría indicar la facilidad con la que los lechones podrían estarse adaptando a la alimentación experimental.

6.4.3 Ganancia de peso semanal

Las ganancias de peso por semana se muestran en la

Figura 8. Se puede observar un aumento en la ganancia de peso durante las dos semanas de experimentación. Los lechones de las Dietas 1, 2 y 3 tuvieron una ganancia de peso de 3.207 ± 0.33 kg, 2.452 ± 0.21 kg y 2.461 ± 0.34 kg, respectivamente a lo largo de todo el periodo experimental. Se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre las medias calculadas para la ganancia de peso en la semana 2, entre la Dieta 1 1.900 ± 0.15 kg/semana y la Dieta 2 1.366 ± 0.09 kg/semana y Dieta 3 1.214 ± 0.11 ($p < 0.05$). Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dietas ($p < 0.05$) calculadas para todo el periodo experimental. Spranghers et al., 2018, incluyó en la dieta 4% y 8% de harina de LMSN entera y 5.4% de harina de LMSN desgrasada; obtuvo resultados similares a los arrojados en este trabajo, en donde a pesar de no encontrar diferencias significativas en la ganancia diaria de peso entre los tratamientos, los de harina de LMSN obtuvieron una menor ganancia diaria de peso en comparación a la dieta control. Algunos otros resultados similares a son reportados por Biasato et al., 2019, en los que se probó una sustitución de 0%, 30% y 60% de harina de LMSN por harina de soya. Los tratamientos con LMSN no afectaron significativamente el desempeño de ganancia de peso de los lechones destetados. De igual manera, en los resultados expresados por Driemeyer et al., 2016, no se encontró algún efecto en el desempeño productivo al sustituir 3.5% de harina de pescado por harina de LMSN entera.

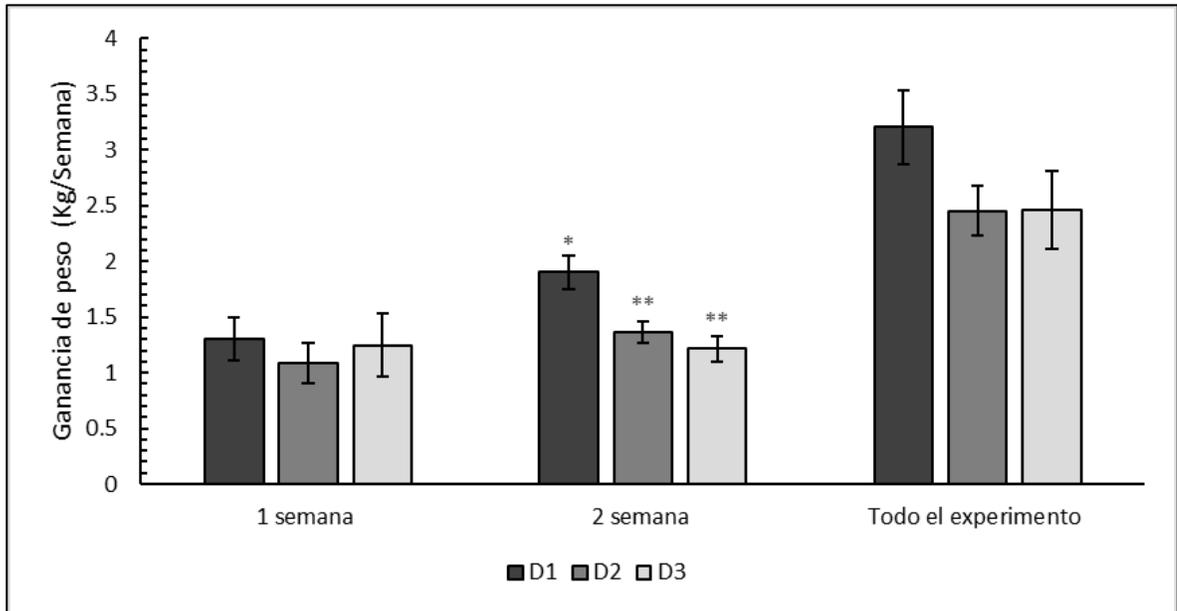


Figura 8 Ganancia de peso de los lechones durante las semanas 1 y 2 del periodo experimental. Ganancia total de peso de los lechones alimentados por las dietas experimentales a lo largo de todo el periodo experimental

6.4.4 Ganancia diaria de peso

Durante la primera semana se registró una ganancia diaria de peso de 0.186 ± 0.02 kg, 0.155 ± 0.02 kg y 0.178 ± 0.04 kg para las dietas D1, D2 y D3 respectivamente. Durante este periodo de tiempo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de ganancia diaria de peso (kg/día) entre dietas ($p < 0.05$).

Durante la segunda semana se obtuvo una ganancia de peso diaria de 0.271 ± 0.02 kg, 0.195 ± 0.01 kg y 0.173 ± 0.01 kg para las dietas D1, D2 y D3 respectivamente. En este lapso sí se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento D1 y los tratamientos D2 y D3 ($p < 0.05$). El registro de ganancia diaria de peso por dieta se muestra en la Figura 9.

A pesar de la falta de diferencias significativas en la ganancia de peso total, se observaron divergencias en la ganancia diaria durante la segunda semana. Esto podría indicar que ciertos aspectos de las dietas afectan la tasa de crecimiento diario en ese período específico. Por otra parte, es importante destacar el incremento de ganancia de peso de la dieta D2 entre la semana 1 y semana 2, ya que, tanto en la ganancia de peso por semana como en la ganancia de peso diaria, la dieta D2 logró superar a la dieta D3 a pesar de tener valores inferiores durante la semana 1, lo cual podría indicar una mayor adaptación a la dieta durante este periodo del experimento. A pesar de esto, la dieta D1 siempre mantuvo valores superiores a lo largo de todo el periodo experimental, este comportamiento se puede visualizar en la Figura 10. En contraste Miao Yu et al., 2020, reporta un incremento positivo en la ganancia diaria de peso en lechones alimentados con niveles crecientes de inclusión de LMSN en sustitución a la harina de pescado siendo de 0%,1%, 2% y 4%.

El trabajo encontrado con mayor inclusión de LMSN dentro de una dieta para lechón destetado fue Susanne Velten et al., 2017, en el que sustituyeron 75% la harina de soya por harina de LMSN, los resultados reportados muestran un comportamiento similar a los obtenidos en este trabajo. Si bien no hay una diferencia significativa entre tratamientos y el desempeño productivo, los animales que recibieron las dietas control mantuvieron valores mayores a lo largo de la experimentación en todos los parámetros.

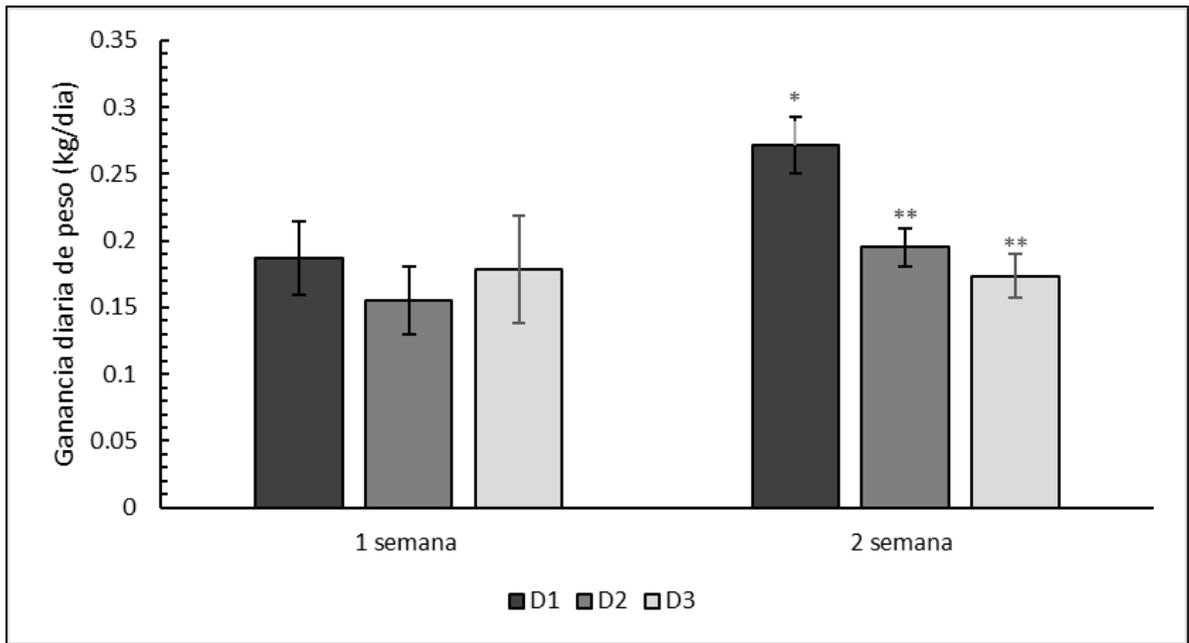


Figura 9 Ganancia diaria de peso del lechón durante la semana 1 y 2 del periodo experimental por tratamiento

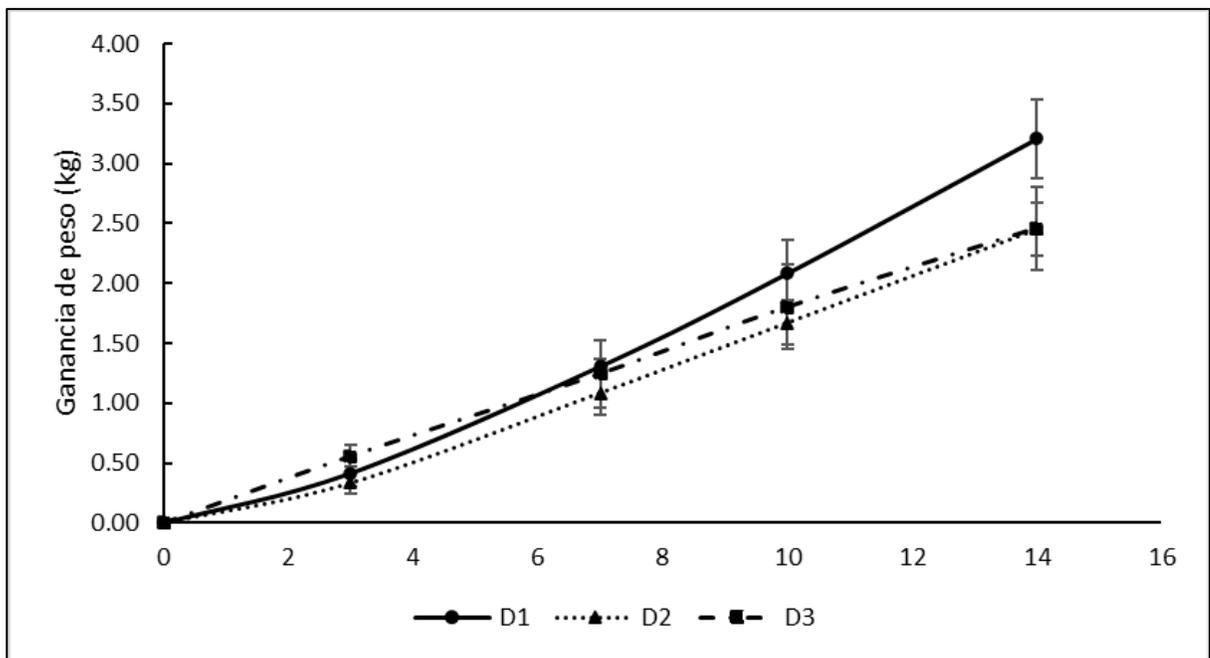


Figura 10 Ganancia de peso de los tratamientos a lo largo de la etapa de experimentación

6.4.5 Conversión alimenticia

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dietas en ningún momento ($p < 0.05$). La disminución en la conversión alimenticia durante la segunda semana sugiere una mejora en la eficiencia de utilización del alimento para el crecimiento, lo cual se puede observar en la Figura 11. Esto podría estar relacionado con la adaptación de los lechones a las nuevas dietas y una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes. En especial se puede observar una gran disminución entre la conversión alimenticia de la dieta D2, entre la semana 1 y 2, siendo esta menor en comparación a la dieta D3 en la semana 2, lo que concuerda con el comportamiento registrado en la ganancia de peso. Una menor conversión alimenticia nos indica un mayor aprovechamiento de los nutrientes en esta etapa para la dieta D2 en comparación a la dieta D3, lo que se ve reflejado en una mayor ganancia de peso. Un comportamiento similar muestra Spranghers et al., 2017, en donde los lechones destetados con una inclusión de 4% y 8% de harina de LMSN tuvieron una mejor conversión alimenticia en la segunda etapa de experimentación.

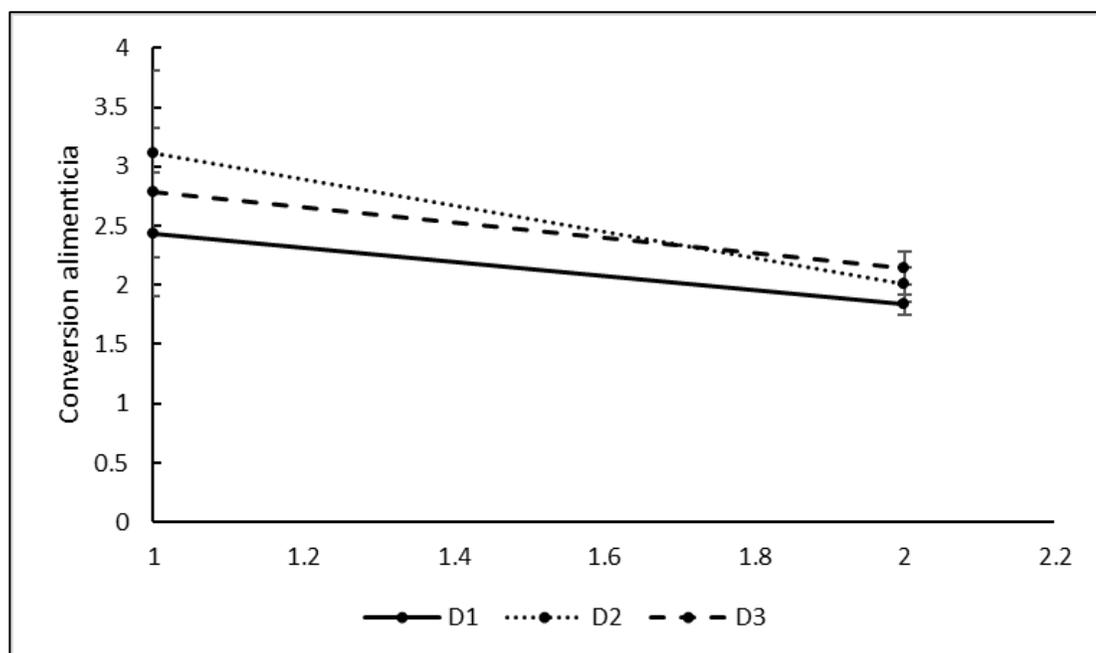


Figura 11 Conversión alimenticia por tratamiento a lo largo de la experimentación

La conversión alimenticia obtenida es resultado de la relación entre el alimento consumido y la ganancia de peso obtenida. Una conversión alimenticia baja indica ya sea un poco consumo de alimento o una menor ganancia de peso, en este caso los resultados de ingesta diaria de alimento coinciden con los esperados por NRC (2012). Sin embargo, los resultados obtenidos en el aumento diario de peso, tanto en la semana 1 como en la semana 2, estuvieron por debajo de lo esperado por NRC (2012). Esto indica que, a pesar de tener una adecuada ingesta de alimento por parte de los lechones, los nutrientes del alimento no fueron aprovechados de la mejor manera por los animales. Una posible razón de esto podrían ser los altos niveles de FND en las dietas experimentales D2 (10.05%) y D3 (9.22%). Una gran cantidad de estudios han reportado un efecto negativo de alimentos altos en fibra y el desempeño en ganancia de peso en cerdos (Agyekum et al., 2017). E. Avelar et al., 2010, reportó un efecto negativo lineal en los coeficientes de digestibilidad de proteína, materia seca, energía, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia al aumentar de forma progresiva la cantidad de trigo en la alimentación de lechones destetados a pesar de mantener homogéneos los niveles de energía neta y aminoácidos digestibles entre las dietas. Este efecto negativo se relaciona principalmente con un impedimento en la adecuada absorción de nutrientes en el intestino delgado (Anguita M et al., 2007) (Laitat M et al., 2015). Es por eso por lo que un alimento alto en fibra en lechones recién destetados podría reducir la ganancia de peso.

En el Cuadro 12 se puede apreciar a manera de resumen los resultados obtenidos en los parámetros productivos de cada uno de los tratamientos, también se muestra una comparación de los parámetros productivos esperados acorde a la NRC (2012) y los obtenidos en este proyecto en Cuadro 13.

Cuadro 12 Parámetros productivos obtenidos por los tratamientos experimentales

Consumo diario de alimento, Ganancia diaria de peso,
Conversión alimenticia

| | D1 | D2 | D3 |
|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Peso inicial | 6.04 ±0.55 | 5.512 ±0.57 | 5.642 ±0.23 |
| CDA (kg/día) | 0.499 ± 0.04 | 0.410 ±0.03 | 0.446 ±0.02 |
| GDP (kg/día) | 0.272 ±0.02 ^a | 0.195 ±0.01 ^b | 0.173 ±0.01 ^b |
| CA | 1.837 ±0.08 | 2.004 ±0.14 | 2.142 ±0.13 |

CDA=Consumo diario de alimento GDP= Ganancia diaria de peso

CA= Conversión alimenticia

Valores promedio n=10

± Error estándar

A B (P<0.05)

Cuadro 13 Comparación de parámetros productivos obtenidos de cada uno de los tratamientos experimentales y los esperados por NRC,2012

Consumo diario de alimento (CDA), Ganancia diaria de peso (GDP)
Consumo diario de energía metabolizable (kcal/día)

| | D1 | D2 | D3 | NRC |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|
| CDA | | | | |
| Semana 1 | 0.369 ±0.02 | 0.340± 0.02 | 0.348 ±0.02 | 0.220 |
| Semana 2 | 0.499 ±0.04 | 0.410 ±0.03 | 0.446 ±0.02 | 0.450 |
| GDP | | | | |
| Semana 1 | 0.187 ±0.02 | 0.155 ±0.02 | 0.178 ±0.04 | 0.200 |
| Semana 2 | 0.272 ±0.02 ^a | 0.195 ±0.01 ^b | 0.173 ±0.01 ^b | 0.375 |
| Consumo de EM (kcal/día) | | | | |
| Semana 1 | 1407.667±84. 51 | 1302.537±96. 41 | 1292.474 ±81.43 | |
| Semana 2 | 1901.943 ±170.34 | 1586.882 ±132.17 | 1665 ±113.00 | |

CDA=Consumo diario de alimento GDP= Ganancia diaria de peso CA=

Conversión alimenticia

Valores promedio n=10

± Error estándar

A B (P<0.05)

6.5 Efecto de las dietas experimentales en los coeficientes de digestibilidad de nutrientes y energéticos.

6.5.1 Coeficiente de digestibilidad energético

Durante la primera semana se obtuvo un coeficiente de digestibilidad energético para la dieta D1, D2 y D3 de 83.467%, 74.687% y 77.604% respectivamente; el coeficiente de digestibilidad de la dieta D1 sí mostró diferencias significativas en comparación a las dietas D2 y D3 ($p < 0.05$), lo que nos indica que los lechones que consumieron la dieta D1 empezaron a aprovechar de mejor manera los nutrientes proporcionados por el alimento. Durante la segunda semana los coeficientes de digestibilidad energético fueron 83.271%, 80.616% y 80.986% para las dietas D1, D2 y D3 respectivamente. La dieta D1 mantuvo coeficientes altos y una tendencia constante en la digestibilidad energética. La diferencia entre los coeficientes de digestibilidad entre la semana 1 y 2 nos indican la adaptación de los lechones a las dietas, podemos observar un cambio mínimo entre la semana 1 y 2 para la dieta D1 lo que indica una pronta adaptación a esta, sin embargo, el gran cambio entre los coeficientes registrados durante la semana 1 y 2 para las dietas D2 y D3 indican una gran adaptación, aunque más tardía en comparación a la dieta D1. En el Cuadro 14 podemos observar el balance energético de cada una de las dietas experimentales.

Cuadro 14 Balance energético según los cálculos de digestibilidad aparente de las dietas experimentales

| | Balanceo energético | | |
|------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| | D1 | D2 | D3 |
| Energía consumida (kcal/kg) | 4125.82 | 4276.11 | 4090.13 |
| Energía en heces (kcal/kg) | 690.203 | 828.874 | 777.697 |
| Energía digestible %EB | 83.271 ±1.12 | 80.616 ±1.16 | 80.986 ±1.29 |
| Energía digestible (kcal/kg) | 3435.617 ±46.59 | 3447.236 ±49.83 | 3312.433 ±53.10 |
| Energía en orina (kcal/kg) | 132.967 ±9.43 | 167.88 ±18.74 | 146.483 ±6.15 |
| Energía Metabolizable %EM/ED | 96.124 ±0.05 | 95.121 ±0.06 | 95.566 ±0.07 |

| | | | |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Energía Metabolizable (kcal/kg) | 3302.65 ±46.59 | 3279.356 ±49.83 | 3165.95 ±53.10 |
| Energía Neta %EN/EM | 73.001 ±0.005a | 73.018 ±0.006a | 72.951 ±0.006b |
| Energía Neta (kcal/kg) | 2410.935 ±33.82 | 2394.492 ±36.17 | 2309.552 ±38.55 |

Valores promedio n=10
± Error estándar
A B (P<0.05)

6.5.2 Coeficiente de digestibilidad de proteína

Los coeficientes de digestibilidad de proteína no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre dietas ($p < 0.05$), sin embargo, se registró un mayor coeficiente de digestibilidad de proteína para la dieta D3 (82.96%) en comparación a las dietas D1 (79.72%) y D2 (79.82%). En contraste con nuestro estudio, Newton 1977 reporta coeficientes de digestibilidad de proteína de 76% en lechones alimentados con una sustitución de 33%. De la misma manera, los resultados contrastan con los reportados por Spranghers et al., 2017, donde obtuvieron un 78% de digestibilidad de la proteína en dietas con 8% de inclusión de LMSN.

6.5.3 Coeficiente de digestibilidad materia grasa

En la segunda semana, las dietas D1 (86.538%), D2 (87.209%) y D3 (86.445%), mantuvieron coeficientes elevados, con la dieta D2 destacando ligeramente en este aspecto, sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

En general, las dietas mantuvieron coeficientes de digestibilidad de grasa elevados a lo largo de las semanas, indicando una buena capacidad de los lechones para digerir este nutriente. La adecuada absorción de este macronutriente para la dieta D2 podría ser la razón por la cual tuvo una mayor ganancia de peso en comparación a la dieta D3, ya que la dieta D2 contenía un mayor porcentaje de grasa en la dieta y al ser este macronutriente el de mayor densidad calórica, podemos inferir que esta es la razón por la cual la dieta D2 tuvo una mejor conversión alimenticia en

comparación a la dieta D3. Los resultados anteriores concuerdan con los resultados mencionados por Newton et al., 1977, donde obtuvo una menor digestibilidad de materia seca pero una mayor digestibilidad de extracto etéreo en dietas con inclusión del 33% de harina de LMSN en contraste a una dieta con harina de soya. Los coeficientes de digestibilidad de nutrientes para las dietas D1, D2 y D3 se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15 Coeficiente de digestibilidad % de nutrientes por tratamiento experimental

Efecto de la Harina de LMSN sobre la digestibilidad fecal aparente
Tratamientos

| | D1 | D2 | D3 |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| Materia seca | 81.670 ±1.15 | 79.803 ±1.12 | 78.925 ±1.12 |
| Proteína | 79.721 ±1.76 | 79.825 ±1.34 | 82.963 ±1.60 |
| Extracto Etéreo | 86.538 ±1.00 | 87.209 ±1.42 | 86.445 ±1.56 |
| Energía | 83.271 ±1.12 | 80.616 ±1.16 | 80.986 ±1.29 |

Valores promedio n=10
± Error estándar
A B (P<0.05)

El efecto anteriormente descrito de la FND sobre la ganancia de peso se puede confirmar en los coeficientes de digestibilidad de materia seca de las dietas D2 y D3 las cuales fueron inferiores en comparación con la dieta D1 como se puede observar en el Cuadro 15. Se ha observado que los niveles altos de fibra en dieta de lechones tienen un efecto negativo en la digestibilidad de nutrientes (Atta et al., 2017). Mientras que altos niveles de fibra en el tracto intestinal provocan grandes cantidades de viscosidad digestiva y, por lo tanto, una menor difusión para las enzimas digestivas, lo que provoca una menor digestión y absorción de nutrientes

a lo largo del tracto digestivo (Wenk, C et al., 2001), también un tránsito digestivo más lento y una menor actividad enzimática (Owusu-Asiedu et al., 2006), (Knudsen, K.B. 2001) (Knudsen, K.B. et al., 1991) (Wilfart, A. et al., 2007) (Le Gall, M. et al., 2009).

Por lo anterior se considera que los niveles altos de fibra proporcionados por la harina de LMSN dentro de las dietas experimentales redujo la absorción de materia seca y energía.

7. CONCLUSIONES

El uso de harina de LMSN en su forma entera y parcialmente desgrasada es un ingrediente viable para formar parte en la dieta de lechones destetados, ya sea por su aporte proteico como por su aporte de grasa.

El uso de harina de LMSN permite elaborar un alimento balanceado para lechones destetados que sean capaces de cumplir con los parámetros productivos.

Por sus características nutricionales y coeficientes de digestibilidad, la harina de LMSN se podría utilizar como un homólogo de la pasta de soya en el aspecto proteico dentro de la alimentación para cerdos.

Es viable una sustitución completa de harina LMSN parcialmente desgrasada o entera por la pasta de soya en una dieta para lechón destetado sin afectar los parámetros productivos de manera significativa, sin embargo, se requiere un mayor tiempo de adaptación por parte de los animales, por lo que no se recomienda como un alimento de sustitución completa para la pasta de soya por el momento.

La proteína de harina de LMSN desgrasada es altamente digestible para lechones destetados lo cual la hace un ingrediente viable tanto para estos como para aquellos en crecimiento, así como para cualquier otra etapa productiva del cerdo.

El uso de harina de LMSN en un alimento para lechones destetados no tiene efecto negativo para que se alcancen los requerimientos energéticos del animal.

La grasa LMSN fue de alta digestibilidad para los lechones destetados por lo que se recomienda también explorar la digestibilidad, aprovechamiento y características de este nutriente.

Se recomienda realizar experimentos de digestibilidad más específicos como la digestibilidad ileal estandarizada, digestibilidad ileal verdadera de aminoácidos y el efecto en la morfología y microbiota de todo el tracto gastrointestinal sobre cada nutriente que compone la harina de LMSN (proteína, grasa fibra).

8. REFERENCIAS

Abd El-Hack, M. E., Shafi, M. E., Alghamdi, W. Y., Abdelnour, S. A., Shehata, A. M., Noreldin, A. E., Swelum, A.A., Al-Sagan, A.A. (2020). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) meal as a promising feed ingredient for poultry: A comprehensive review. *Agriculture*, 10 (8), 339.

AccuWeather, Inc. (S/F). AccuWeather El Marqués Querétaro Recuperado el 24 de noviembre de 2023, de <https://www.accuweather.com/es/mx/el-marqu%C3%A9s/3558805/november-weather/3558805>

An, J., Chang, S., Song, D., Cho, H., Park, S., Jeon, K., & Cho, J. (2023). PSVIII-28 Effect of Replacement Dietary of Animal Protein with Insect Meal (*Hermetia illucens*) on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Profile, Gas Emission, and Fecal Microbial in Weaned Pigs. *Journal of Animal Science*, 101 (Supplement_3), 492-494.

Agyekum, A. K., & Nyachoti, C. M. (2017). Nutritional and metabolic consequences of feeding high-fiber diets to swine: a review. *Engineering*, 3 (5), 716-725.

Anguita, M., Gasa, J., Nofrarias, M., Martín-Orúe, S. M., & Pérez, J. F. (2007). Effect of coarse ground corn, sugar beet pulp and wheat bran on the voluntary intake and physicochemical characteristics of digesta of growing pigs. *Livestock Science*, 107(2-3), 182-191.

Avelar, E., Jha, R., Beltranena, E., Cervantes, M., Morales, A., & Zijlstra, R. T. (2010). The effect of feeding wheat distillers dried grain with solubles on growth performance and nutrient digestibility in weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 160(1-2), 73-77.

Atsbeha, D. M., Flaten, O., Olsen, H. F., Kjos, N. P., Kidane, A., Skugor, A. & Øverland, M. (2020). Technical and economic performance of alternative feeds in dairy and pig production. *Livestock Science*, 240, 104123.

Barreiro, M. D. L. A. A., de Souza, T. C. R., Landín, G. M., Sosa, A. G. B., & Barreyro, A. A. (2006). Digestibilidad de nutrimentos en lechones alimentados con dietas con aislado o concentrado de proteína de soya. *Técnica pecuaria en México*, 44(3), 301-311.

Bajpai, S., Sharma, A., & Gupta, M. N. (2005). Removal and recovery of antinutritional factors from soybean flour. *Food chemistry*, 89 (4), 497-501.

Barragán-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed—a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105-120.

Balfagón, A., Jiménez-Moreno, E., Nutral, S. C. A., Iberia, C. A. N., & Mequinenza, Z. (2014). Nuevos avances en alimentación y nutrición porcina: bases científicas y alimentación práctica en la península ibérica. XXX Curso de especialización FEDNA. Madrid.

Brooks, P. H., Beal, J. D., & Niven, S. (2001). Liquid feeding of pigs: potential for reducing environmental impact and for improving productivity and food safety. *Recent advances in animal nutrition in Australia*, 13, 49-63.

Brooks, P. H., & Tsourgiannis, C. A. (2003). Factors affecting the voluntary feed intake of the weaned pig. *Weaning the Pig, Concepts and Consequences*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 81-116.

Biasato, I., Renna, M., Gai, F., Dabbou, S., Meneguz, M., Perona, G., & Gasco, L.

(2019). Partially defatted black soldier fly larva meal inclusion in piglet diets: effects on the growth performance, nutrient digestibility, blood profile, gut morphology and histological features. *Journal of animal science and biotechnology*, 10, 1-11.

Burrin, D., & Stoll, B. (2003). 12 Intestinal nutrient requirements in weanling pigs. *Weaning the pig*, 301.

Campabadal C. 2009. Guía técnica para alimentación de cerdos. Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Sistema Unificado de Información Institucional.

Campbell, J. M., Crenshaw, J. D., & Polo, J. (2013). The biological stress of early weaned piglets. *Journal of animal Science and Biotechnology*, 4(1), 19.

Carrero, H., Espinosa, C., & Cataño, G. (Febrero de 2005). Repositorio SENA. Manual de producción porcícola: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4270/1/porcinos_2005.pdf

Cervantes-Pahm, S. K., & Stein, H. H. (2010). Ileal digestibility of amino acids in conventional, fermented, and enzyme-treated soybean meal and in soy protein isolate, fish meal, and casein fed to weanling pigs. *Journal of animal science*, 88 (8), 2674-2683.

Chia, S. Y., Tanga, C. M., Osuga, I. M., Alaru, A. O., Mwangi, D. M., Githinji, M., ... & Dicke, M. (2021). Black soldier fly larval meal in feed enhances growth performance, carcass yield and meat quality of finishing pigs. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(4), 433-447.

Crosbie, M., Zhu, C., Karrow, N. A., & Huber, L. A. (2021). The effects of partially replacing animal protein sources with full fat black soldier fly larvae meal (*Hermetia*

Illucens) in nursery diets on growth performance, gut morphology, and immune response of pigs. *Translational Animal Science*, 5(2), txab057.

Deng, Z., Duarte, M. E., Kim, S. Y., Hwang, Y., & Kim, S. W. (2023). Comparative effects of soy protein concentrate, enzyme-treated soybean meal, and fermented soybean meal replacing animal protein supplements in feeds on growth performance and intestinal health of nursery pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14(1), 89.

Diclaro II, J. W., & Kaufman, P. E. (2009). Black soldier fly *Hermetia Illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae): EENY 461/IN830, 6/2009. EDIS, 2009(7).

Driemeyer, H. (2016). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia Illucens*) larvae as an alternative protein source in pig creep diets in relation to production, blood and manure microbiology parameters (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).

FEDNA. 2019. Fundación Española para el desarrollo de la Nutrición Animal

Gasa, J., & López-Vergé, S. (2015). Iniciación a la producción y manejo del ganado porcino: Breve manual de inmersión para estudiantes de veterinaria (Vol. 232). Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Gasa, J., & López-Vergé, S. (2015). Iniciación a la producción y manejo del ganado porcino: Breve manual de inmersión para estudiantes de veterinaria (Vol. 232). Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Gilani, G. S., Cockell, K. A., & Sepehr, E. (2005). Effects of antinutritional factors on protein digestibility and amino acid availability in foods. *Journal of AOAC International*, 88(3), 967-987.

González, E. R. (2015). Cuidados en cerdas de renuevo, reproductoras y lechones. AGAP0108. IC Editorial.

Hender, A., Siddik, M. A., Howieson, J., & Fotedar, R. (2021). Black soldier fly, *Hermetia illucens* as an alternative to fishmeal protein and fish oil: impact on growth, immune response, mucosal barrier status, and flesh quality of juvenile barramundi, *lates calcarifer* (Bloch, 1790). *Biology*, 10(6), 505.

Hogsette, J. A. (1992). New diets for production of house flies and stable flies (Diptera: Muscidae) in the laboratory. *Journal of economic entomology*, 85(6), 2291-2294.

Ipema, A. F., Bokkers, E. A., Gerrits, W. J., Kemp, B., & Bolhuis, J. E. (2021). Providing live black soldier fly larvae (*Hermetia Illucens*) improves welfare while maintaining performance of piglets post-weaning. *Scientific Reports*, 11(1), 7371.

Insuasti, A. S. G., Collazos, D. V., & Argote, F. E. (2008). Efecto de la dieta y edad del destete sobre la fisiología digestiva del lechón. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 6(1), 32-41.

Jagger, S., Wiseman, J., Cole, D. J. A., & Craigon, J. (1992). Evaluation of inert markers for the determination of ileal and faecal apparent digestibility values in the pig. *British journal of nutrition*, 68(3), 729-739.

Knudsen, K. B., & Hansen, I. (1991). Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions: 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. *British journal of nutrition*, 65(2), 217-232.

Knudsen, K. B. (2001). The nutritional significance of “dietary fibre” analysis. *Animal*

feed science and technology, 90(1-2), 3-20.

Laitat, M., Antoine, N., Cabaraux, J. F., Cassart, D., Mainil, J., Moula, N., ... & Philippe, F. X. (2015). Influence of sugar beet pulp on feeding behavior, growth performance, carcass quality and gut health of fattening pigs. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 19 (1).

Landín, G. M., de Souza, T. C. R., Delgado, A. A. H., & García, K. E. (2009). Pérdidas endógenas de nitrógeno y aminoácidos en cerdos y su aplicación en la estimación de los coeficientes de digestibilidad ileal de la proteína y aminoácidos de las materias primas. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 47(3), 371-388.

Lawrence, N. J., & Maxwell, C. V. (1983). Effect of dietary fat source and level on the performance of neonatal and early weaned pigs. *Journal of Animal Science*, 57(4), 936-942.

Lawlor, P. G., Lynch, P. B., Caffrey, P. J., & O'Doherty, J. V. (2002). Effect of pre- and post-weaning management on subsequent pig performance to slaughter and carcass quality. *Animal Science*, 75(2), 245-256.

Lawlor, P. G., Gardiner, G. E., & Goodband, R. D. (2020). Feeding the weaned piglet. In *The suckling and weaned piglet* (pp. 1304-1309). Wageningen Academic Publishers.

Le Gall, M., Warpechowski, M., Jaguelin-Peyraud, Y., & Noblet, J. (2009). Influence of dietary fibre level and pelleting on the digestibility of energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *Animal*, 3(3), 352-359.

Magklaras, G., Skoufos, I., Bonos, E., Tsinas, A., Zacharis, C., Giavasis, I., ... & Tzora, A. (2023). Innovative Use of Olive, Winery and Cheese Waste By-Products

as Novel Ingredients in Weaned Pigs Nutrition. *Veterinary Sciences*, 10(6), 397.

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

Montagne, L., Boudry, G., Favier, C., Le Huërou-Luron, I., Lalles, J. P., & Seve, B. (2007). Main intestinal markers associated with the changes in gut architecture and function in piglets after weaning. *British Journal of Nutrition*, 97(1), 45-57.

Newton, L. A. R. R. Y., Sheppard, C. R. A. I. G., Watson, D. W., Burtle, G. A. R. Y., & Dove, R. O. B. E. R. T. (2005). Using the black soldier fly, *Hermetia Illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. *Animal and Poultry Waste Management Center, North Carolina State University, Raleigh, NC*, 17(2005), 18.

Noblet, J., & Perez, J. M. (1993). Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *Journal of animal science*, 71(12), 3389-3398.

Noblet, J., Fortune, H., Shi, X. S., & Dubois, S. (1994). Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *Journal of animal science*, 72(2), 344-354.

National Research Council (NRC) (2012) *Nutrient Requirements of Swine*. 11th Edition, National Academies Press, Washington, DC.

Osorio, E., Giraldo, J. y Narváez, W. (2012). Metodologías para determinar la digestibilidad de los alimentos utilizados en la alimentación canina. *Veterinaria Zootecnia*, 6(1):87-97.

Owusu-Asiedu, A. J. F. J., Patience, J. F., Laarveld, B., Van Kessel, A. G., Simmins, P. H., & Zijlstra, R. T. (2006). Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *Journal of animal science*, 84(4), 843-852.

Paramio, T., Manteca, X., Milan, J., Piedrafita, J., Izquierdo, D., Gasa, J., ... & Pares, R. (2012). Manejo y producción de porcino. Breve manual de aproximación a la empresa porcina para estudiantes de veterinaria. España: Univ. Autónoma de Barcelona.

Partridge, G.G. y Gill, B.P. (1993) New approaches with pig weaner diets. En: *Recent Advances in Animal Nutrition*. Garnsworthy, P.C. y Cole, D.J.A. (eds.). Butterworths. RU. pp: 221-248

Peace, R. M., Campbell, J., Polo, J., Crenshaw, J., Russell, L., & Moeser, A. (2011). Spray-dried porcine plasma influences intestinal barrier function, inflammation, and diarrhea in weaned pigs. *The Journal of Nutrition*, 141(7), 1312-1317.

Pollmann, D. S. (1993). Effects of nursery feeding programs on subsequent grower-finisher pig performance. In *Proceeding of the Fourth Western Nutrition Conference University of Alberta* (pp. 653-664).

Pluske, J. R., Le Dividich, J., & Verstegen, M. W. (Eds.). (2003). *Weaning the pig: concepts and consequences*. Wageningen Academic Publishers.

Phaengphairee, P., Boontiam, W., Wealleans, A., Hong, J., & Kim, Y. Y. (2023). Dietary supplementation with full-fat *Hermetia illucens* larvae and multi-probiotics, as a substitute for antibiotics, improves the growth performance, gut health, and antioxidative capacity of weaned pigs. *BMC Veterinary Research*, 19(1), 7.

Reese, D., van Heugten, E., Patience, J., Stein, H., DeRouchey, J., & Benz, J. (2010). Composition and usage rate of feed ingredients for swine diets.

Reis de Souza, T. C., Mariscal Landín, G., & Escobar García, K. (2010). Algunos factores fisiológicos y nutricionales que afectan la incidencia de diarreas posdestete en lechones. *Veterinaria México*, 41(4), 275-288.

Reis de Souza, T. C. R. D., Mariscal Landín, G., Escobar García, K., Aguilera Barreyro, A., & Magné Barrónt, A. (2012). Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfofisiológico de su aparato digestivo. *Veterinaria México*, 43(2), 155-173.

Reis de Souza, T. C. R., Landín, G. M., & Barreyro, A. A. (2005). Effect of different cereals on nutrient digestibility and dietary preference in starter diets for piglets. *Veterinaria México*, 36(1), 11-24.

Reis de Souza, T. C. R., & Landín, G. M. (1997). El destete, la función digestiva y la digestibilidad de los alimentos en cerdos jóvenes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 35(3).

Reis de Souza, T. C. R., & Landín, G. M. (1997). El destete, la función digestiva y la digestibilidad de los alimentos en cerdos jóvenes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 35(3).

Rist, V. T. S., Weiss, E., Eklund, M., & Mosenthin, R. (2013). Impact of dietary protein on microbiota composition and activity in the gastrointestinal tract of piglets in relation to gut health: a review. *Animal*, 7(7), 1067-1078.

Rojas, O. J., & Stein, H. H. (2013). Concentration of digestible, metabolizable, and net energy and digestibility of energy and nutrients in fermented soybean meal,

conventional soybean meal, and fish meal fed to weanling pigs. *Journal of animal science*, 91(9), 4397-4405.

Sánchez, R. E. P., Rodríguez, M. L., Guzmán, E. C. B., Valladares, A. G., Bravo, R. M. R., & Rodríguez, R. O. (2014). Efecto del suero de leche como complemento de la dieta sobre el crecimiento de las vellosidades intestinales y el peso de lechones en la etapa de 6 a 20 kg. *Revista Científica*, 24(4), 319-324.

Spitz, F. (1986). Current state of knowledge of wild boar biology. *Pig News and Information*, 7(22), 171-175.

Schokker, D., Zhang, J., Zhang, L. L., Vastenhouw, S. A., Heilig, H. G., Smidt, H., ... & Smits, M. A. (2014). Early-life environmental variation affects intestinal microbiota and immune development in new-born piglets. *PloS one*, 9(6), e100040.

Stein, H. (2007, April). Feeding the pigs' immune system and alternatives to antibiotics. In *Proceedings of London Swine Conference* (pp. 65-82).

Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Owyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594-2600.

Spranghers, T., Michiels, J., Vrancx, J., Owyn, A., Eeckhout, M., De Clercq, P., & De Smet, S. (2018). Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 235, 33-42.

Tolplis, P. y Tibble, S. 1995. Appetite management of the pig. Beyond diet formulation: *Proceedings of the 1995 Saskatchewan Pork Industry Symposium*, Saskatoon,

Canadá, pp: 23-33.

Tokach, M.D., R.D. Goodband, J.L. Nelssen and D.R. Keesecker, 1992. Influence of weaning weight and growth during the first week postweaning on subsequent pig performance. In: Proceedings of the American Association of Swine Practitioners University of Minnesota, pp. 409.

Van Huis, A. (2018). Insects as Human Food. In Ethnozology (pp. 195-213). Academic Press.

Varley, M. A., & Wiseman, J. (Eds.). (2001). The weaner pig: nutrition and management. Proceedings of a British Society of Animal Science Occasional Meeting, University of Nottingham, UK, September 2000. CABI Publishing.

Vogel, K. P., Pedersen, J. F., Masterson, S. D., & Toy, J. J. (1999). Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF, and IVDMD forage analysis. *Crop Science*, 39(1), 276-279.

Wenk, C. (2001). The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Animal Feed Science and Technology*, 90(1-2), 21-33.

Williams, I. H. (2003). Growth of the weaned pig. *Weaning the Pig: Concepts and Consequences*; Pluske, JR, Le Dividich, J., Verstegen, MWA, Eds, 17-35.

Wilfart, A., Montagne, L., Simmins, H., Noblet, J., & van Milgen, J. (2007). Digesta transit in different segments of the gastrointestinal tract of pigs as affected by insoluble fibre supplied by wheat bran. *British Journal of Nutrition*, 98(1), 54-62.

Yu, M., Li, Z., Chen, W., Rong, T., Wang, G., & Ma, X. (2019). Effects of *Hermetia Illucens* L. larvae meal on nutrient digestibility, serum biochemical indices and amino

acid composition of finishing pigs. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 31(7), 3330-3337.

Zabielski, R. (1998). Regulatory peptides in milk, food and in the gastrointestinal lumen of young animals and children. *J. Anim. Feed Sci*, 7, 65-78.

Zhang, G. G., Yang, Z. B., Wang, Y., Yang, W. R., & Zhou, H. J. (2014). Effects of dietary supplementation of multi-enzyme on growth performance, nutrient digestibility, small intestinal digestive enzyme activities, and large intestinal selected microbiota in weanling pigs. *Journal of animal science*, 92(5), 2063-2069.

