

Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ciencias Naturales
Maestría en Recursos Bióticos

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE VALINA A UNA DIETA BAJA EN PROTEÍNA SOBRE EL
DESEMPEÑO ZOOTÉCNICO Y EN LA COMPOSICIÓN CORPORAL DEL LECHÓN
RECIÉN DESTETADO**

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Recursos Bióticos

Presenta:
Jackeline Servín Lugo

Dirigido por:
Tércia Cesária Reis de Souza

Dra. Tércia Cesária Reis de Souza
Presidente

Dr. Gerardo Mariscal Landín
Secretario

Dra. Ma. Guadalupe Bernal Santos
Vocal

Dra. Araceli Aguilera Barreyro
Suplente

Dr. Konisqmar Escobar García
Suplente

Dra. Margarita Teresa de Jesús García Gasca
Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Septiembre de 2015
México

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

RESUMEN

Se realizaron dos experimentos para determinar el efecto de la reducción del nivel de proteína de la dieta y la adición de valina sobre el desempeño zootécnico, la composición química corporal (CQC) y la composición de la ganancia de peso vacío (CGPv) en lechones, durante las primeras dos semanas posdestete. Se compararon tres dietas: 1) dieta alta en proteína cruda más la adición de antibiótico (APCa, 24%), 2) dieta baja en proteína cruda sin antibiótico (BPC, 18%) y 3) dieta BPC más la adición de valina (Val) (BPCv, 18%). En el experimento 1 se llevó a cabo una prueba de comportamiento en donde se utilizaron 108 lechones. Se determinó la presencia y severidad de diarrea y se estudió el comportamiento zootécnico de los lechones, midiendo la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo diario de alimento (CDA) y la eficiencia alimenticia (EA). En el experimento 2 se estudió la CQC de los lechones y la CGPv durante las dos primeras semanas posdestete. Se utilizaron 53 lechones, donde cinco fueron el grupo inicial (GI), sacrificados al día del destete; el resto se alojó en 12 corrales para ser asignados a las tres dietas. Al día 14 posdestete, se llevó a cabo el sacrificio de 15 lechones (cinco por dieta) que constituyeron el grupo experimental (GE). Se estimó la ganancia de peso vacío de los lechones del GE y la CGPv durante las dos primeras semanas posdestete utilizando el método de sacrificio comparado. De los animales sacrificados se recolectaron las vísceras más sangre y la canal. Se midió la CQC para determinar el porcentaje y la ganancia de agua, materia seca (MS), grasa (EE), proteína cruda (PC), ceniza y energía de vísceras más sangre y de canal. En el experimento 1, los lechones alimentados con dieta APCa tuvieron mayor GDP respecto a los alimentados con BPC y BPCv ($P=0.05$); el CDA no fue diferente entre tratamientos durante la primera semana posdestete aunque hubo una tendencia ($P=0.09$) de que en los animales alimentados con las dietas BPC y BPCv fuera menor en relación a los de la APCa. Durante la segunda semana posdestete los lechones alimentados con dieta APCa tuvieron mayor CDA ($P=0.05$); todos los animales consumieron más alimento durante la segunda semana respecto a la primera. El CDA fue mayor en los lechones alimentados con dieta APCa ($P<0.05$). En la primera semana posdestete los animales alimentados con BPC y BPCv tendieron a tener menor EA respecto a los de APCa ($P=0.06$). La incidencia y severidad de diarreas no tuvieron diferencias entre tratamientos ($P>0.05$), y ambas fueron únicamente mayores durante la segunda semana posdestete. En el experimento 2, no se observó efecto del nivel de PC de la dieta ni de la inclusión de Val en una dieta baja en proteína sobre el rendimiento y la composición química de vísceras más sangre y de canal ($P>0.05$), sobre las variables analizadas. La ganancia de EE en vísceras más sangre, hubo una tendencia ($P=0.09$) a ser mayor en los lechones alimentados con BPCv. En la CGPv en las canales, todas perdieron MS debido a la pérdida de EE, confirmado por la pérdida de energía. Como conclusión, la inclusión de valina a una dieta baja en proteína y el nivel de PC, no influyeron sobre la CQC, ni en la CGPv de la canal ni de vísceras más sangre de los lechones recién destetados, así como tampoco sobre la incidencia y severidad de diarreas durante las dos semanas posdestete.

Palabras clave: Composición química corporal, nivel de proteína, valina, diarrea.

SUMMARY

Two experiments were conducted to determine the effect of reducing the dietary crude protein and the addition of valine on performance, body chemical composition (BCC) and composition of the weight gain (CWG) in piglets during the first two weeks postweaning. Three diets were compared: 1) high crude protein with antibiotic (APCa, 24%), 2) low protein diet without antibiotic (LCP, 18%) and 3) low protein diet with valine (Val) (LCPv, 18%). In experiment one was carried out a performance test; 108 piglets were used. Were determined the presence and severity of diarrhea and studied the zootechnical performance of piglets, by measuring the daily body weight gain (DBWG), feed intake (FI) and feed efficiency (FE). In experiment two the BCC of piglets and the CWG were studied during the two first weeks postweaning. 53 piglets were used, five were the initial group (IG), slaughtered the day of weaning; the rest stayed in 12 pens to be assigned to the three diets. Day 14 postweaning, 15 piglets was slaughtered (five per diet) that formed the experimental group (EG). Estimated empty weight gain of piglets from the EG and the CWG during the first two weeks postweaning using the method of comparative sacrifice. Of the slaughtered animals were collected viscera and blood and carcass. The BCC was measured to determine the percentage and water gain, dry matter (DM), fat (EE), crude protein (CP), ash and energy of viscera and blood and carcass. In experiment one, piglets fed diet HCPa had greater DBWG with respect to the fed to LCP and LCPv ($P = 0.05$); the FI was not different between treatments during the first week post-weaning although there was a trend ($P=0.09$) that in animals fed with diets LCP and LCPv outside lower in relation to the de the HCPa. During the second week postweaning piglets fed diet HCPa had greater FI ($P=0.05$); all the animals consumed more food during the second week with respect to the first. The FI was greater in piglets fed diet HCPa ($P<0.05$). In the first week postweaning, animals fed with LCP and LCPv tended to have lower FE regarding the HCPa ($P = 0.06$). The FE had no differences between treatments. There were no significant differences in incidence and severity of diarrhea among treatments ($P>0.05$). Only, both variables were higher during the second week postweaning. In experiment two, there was not effect of dietary crude protein level or the inclusion of Val on the yield and chemical composition of viscera and blood and carcass ($P>0.05$) on the variables analyzed. The gain of EE had a tendency ($P=0.09$) to be higher for piglets fed with LCPv. In the CWG in the carcass, all animals had MS loss due to loss of EE, confirmed in the loss of energy. In conclusion, the effect of reducing the dietary crude protein and the addition of valine to a diet low in protein, they did not influence on performance, CQC, CWG and on the incidence and severity of diarrhea of weaned piglets during the two weeks postweaning.

Key words: body chemical composition, protein level, valine, diarrhea.

DEDICATORIA

A mi familia

Mis papás: Mi mamá Lolita, y mi ángel J. Antonio

Mis hermanos: Dulce, Lola y Toño

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a la Doctora Tércia Cesária Reis de Souza, directora del proyecto de investigación, docente de la Facultad de Ciencias Naturales, Coordinadora de la Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Querétaro y gran investigadora, quien me apoyó en todo momento durante mi posgrado guiándome siempre con mucha paciencia.

A mis sinodales: Dr. Gerardo Mariscal Landín, Dra. Araceli Aguilera Barreyro, Dr. Konisgmar Escobar García y Dra. Guadalupe Bernal Santos por la paciencia que tuvieron y siempre han tenido, por explicarme y compartir sus conocimientos. También a la Dra. María de Jesús Guerrero Carrillo durante la preparación de las muestras de canal para sus análisis durante el proyecto.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo me fue posible realizar exitosamente la maestría.

Al gran equipo de trabajo del Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Naturales: Quique, Lety, Auro, José, Adrián, Ana y Lalo, otros alumnos y compañeros. Así mismo, a mis compañeros Pablo y Yanier, y a mis compañeros de generación Héctor y Samantha quienes dedicaron tiempo para colaborar en la elaboración de dietas y el cuidado de los lechones.

Al personal administrativo de la Facultad de Ciencias Naturales, pues con su labor pude concluir satisfactoriamente mi trabajo. Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, en el municipio de Colón, Querétaro, gracias a su personal que apoyó durante las semanas experimentales.

Gracias a mis amigos, que me animaron cada día para lograr salir adelante en días de estrés y cansancio. Gracias a mi familia por aguantarme en días de trabajo y desvelo. A las personas que estuvieron en esta etapa de mi vida, muchas gracias.

ÍNDICE

Resumen	I
Summary	II
Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Índice	V
Índice de Cuadros	VII
Índice de Figuras	VIII
Índice de Anexos	IX
I. INTRODUCCIÓN	10
II. ANTECEDENTES	13
2.1 Destete del lechón	13
2.2 Cambios posdestete en el lechón	15
2.2.1 Adaptaciones digestivas	16
2.2.1.1 Acidez gástrica	17
2.2.1.2 Actividad enzimática	17
2.3 Importancia de las proteínas y aminoácidos en los alimentos	18
2.4 El desarrollo corporal del cerdo	24
2.4.1 Tracto gastrointestinal del lechón	25
III. JUSTIFICACIÓN	27
IV. HIPÓTESIS	27
V. OBJETIVOS	28
5.1 Objetivo general	28
5.2 Objetivos específicos	28
VI. MATERIAL Y MÉTODO	28
6.1 Experimento 1. Diarreas y comportamiento zootécnico de los lechones.	29

6.2.1 Manejo experimental	31
6.1.2 Monitoreo de diarreas	32
6.1.3 Análisis estadístico	32
6.2 Experimento 2. Composición corporal y de la ganancia de peso durante las dos primeras semanas posdestete.	33
6.2.1 Sacrificio de los animales	33
6.2.1.1. Animales sacrificados:	33
6.2.2 Determinación de la composición química corporal	35
6.2.3 Cálculos para la estimación de la ganancia de peso vacío (GPv) y de su composición química.	37
6.2.4 Análisis estadístico	46
VII. RESULTADOS	46
7.1 Diarreas y comportamiento zootécnico de los lechones	46
7.1.1 Parámetros productivos	46
7.1.2 Incidencia y severidad de diarreas	48
7.2 Composición química corporal y de la ganancia de peso durante las dos semanas posdestete.	49
7.2.1 Efectos sobre la composición química de canal y vísceras más sangre.	49
7.2.2 Efectos sobre la composición de la ganancia de peso en los lechones a las dos semanas posdestete.	51
VIII.DISCUSIÓN	52
IX. CONCLUSIÓN	59
X. IMPLICACIONES	61
XI. REFERENCIAS	62
XI. ANEXOS	67

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Destete en cerdos jóvenes: contexto, trastornos intestinales inducidos y principales factores de riesgo.	14
CUADRO 2. Clasificación de aminoácidos.	21
CUADRO 3. Composición química y centesimal de las dietas experimentales.	30
CUADRO 4. Composición química de los lechones del GI.	31
CUADRO 5. Ganancia diaria de peso (GDP), Consumo diario de alimento (CDA) y Eficiencia alimenticia (EA) de los lechones en prueba de comportamiento.	47
CUADRO 6. Composición química corporal de los lechones al día 14 posdestete.	50
CUADRO 7. Composición de la ganancia de peso vacío de los lechones durante las dos primeras semanas posdestete.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Cambios de la secreción enzimática de las primeras semanas de vida del lechón	18
FIGURA 2. Estructura general de un aminoácido	19
FIGURA 3. Enlace peptídico	20
FIGURA 4. Teoría del barril	22
FIGURA 5. Estructura química de los aminoácidos limitantes.	23
FIGURA 6. Estructura química de la valina	23
FIGURA 7. Tracto gastrointestinal del cerdo	26
FIGURA 8. Corral de alojamiento	29
FIGURA 9. Cronograma del manejo experimental de los lechones. Experimento 1.	32
FIGURA 10. Cronograma del manejo experimental de los lechones. Experimento 2.	33
FIGURA 11. Molienda de muestras para análisis.	35
FIGURA 12. Digestor de muestras para determinación de proteína cruda.	36
FIGURA 13. Determinación de extracto etéreo.	36
FIGURA 14. Incidencia de diarreas durante primera y segunda semana posdestete.	49
FIGURA 15. Severidad de diarreas durante primera y segunda semana posdestete.	49
FIGURA 16. Composición química de vísceras más sangre y canal de lechones a las dos semanas posdestete (14 días de vida).	57

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Composición química de los lechones del grupo inicial (GI)	62
--	-----------

I. INTRODUCCIÓN

El cerdo es de los animales productores de carne más eficientes; sus características particulares como la precocidad y prolificidad, el corto ciclo reproductivo y la capacidad transformadora de nutrientes, lo hacen especialmente atractivo como fuente de alimento.

La producción porcina se intensifica aún más a través del tiempo, las exigencias del mercado priorizan los cortes magros, por lo cual se busca seleccionar mejor a los animales por sus características de la canal y la eficiencia tanto productiva como reproductiva (Navarrete, 2012).

Los caracteres de producción que se busca mejorar en el ganado porcino se clasifican en crecimiento (ganancia de peso diaria e índice de consumo, o eficiencia alimenticia); de la canal (rendimiento de la canal y porcentaje magro); y de la calidad de canal (calidades tecnológicas y composición de los tejidos) (Cámara *et al*, 2012).

El objetivo de mejorar la producción porcina, es hacer eficiente el consumo de alimento, pues se sabe que de los costos de producción, el alimento representa el mayor porcentaje de los gastos (Shimada, 2009).

Dentro de los objetivos de la nutrición porcina está el evaluar el uso de la tecnología disponible para obtener mayor precisión y resultados favorables en la formulación de alimentos. La evaluación aplicada a la nutrición de aminoácidos para lechones, por ejemplo, debe considerar beneficios generales, como lo es el costo-beneficio, al lograr formular alimentos balanceados con ingredientes de calidad y con mínimo costo, considerando los efectos sobre el rendimiento animal y el medio ambiente (FAO, 2012).

El National Research Council (NRC) (2012) recomienda que las dietas de los lechones incluyan un nivel de proteína alto para cumplir con los requerimientos de los animales. Sin embargo, en la etapa inicial de crianza los animales no han

desarrollado su sistema digestivo, lo que impide un adecuado aprovechamiento de los nutrientes. El exceso de proteína en la dieta puede estimular su fermentación en el tracto gastrointestinal, fomentando la proliferación de bacterias patógenas, así como la producción de sus metabolitos, tales como amoníaco, aminos, fenoles y ácidos grasos de cadena ramificada, siendo estos factores predisponentes para la diarrea posdestete (Heo *et al.*, 2008).

Una de las alternativas para la disminución de problemas digestivos en la fase posdestete es la formulación y uso de dietas con niveles bajos de proteína (Le Bellego y Noblet, 2002; Nyachoti *et al.*, 2006). Sin embargo, se sabe que el consumo deficiente de proteínas da lugar a un menor consumo de alimento, y consiguientemente a un desarrollo muscular ineficiente, así como menores tasas de crecimiento.

Varios autores han determinado que en dietas para lechones bajas en proteína es necesaria la adición de aminoácidos esenciales (Mavromichalis *et al.*, 2001; Theil *et al.*, 2003; Nyachoti *et al.*, 2006; Heo *et al.*, 2008), lo cual es posible gracias a la gran disponibilidad de aminoácidos cristalinos (AAC) (Le Bellego y Noblet, 2002; Lordelo *et al.*, 2008). Sin embargo la suplementación con estos AAC puede llegar a incrementar el costo de la dieta, particularmente si los animales son alimentados durante un periodo de tiempo considerable después del destete (Heo *et al.*, 2008).

Los cerdos con dietas balanceadas tienen altos rendimientos productivos y por ello se han realizado estudios sobre la disminución de la proteína dietética y la adición de AAC, aunque es importante mencionar que esto no solo tiene implicaciones nutricionales, sino que también se ha divulgado para reducir las emisiones de nitrógeno al medio ambiente, así como para limitar la incidencia y severidad de las diarreas en los lechones (Barea *et al.*, 2009).

Según varios estudios la valina (Val) es un aminoácido (AA) limitante junto con la lisina (Lys), metionina (Met), tirosina (Thr) y triptófano (Trp) (Mavromichalis *et al.*, 2001; Figueroa *et al.*, 2003; Theil *et al.*, 2003; Wiltafsky *et al.*, 2009). Incluso, los resultados de un estudio de Lordelo *et al.*, (2008), demuestran que la inclusión de valina (Val) sola o en combinación con isoleucina (Ile), en una dieta de iniciación con un bajo nivel de proteína cruda (PC), lleva a respuestas de rendimiento del crecimiento similares a las obtenidas cuando se alimenta con una dieta alta en PC.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la reducción del nivel de PC dietética y la adición de valina en la dieta sobre algunos parámetros productivos, la composición química corporal y la composición química de la ganancia de peso en lechones, durante las primeras dos semanas posdestete.

II. ANTECEDENTES

2.1 Destete del lechón

El manejo del lechón durante las primeras semanas después del destete es crítico para su supervivencia y para su crecimiento. El potencial de crecimiento debe tratar de alcanzarse en estas fechas. Un crecimiento rápido durante el posdestete no sólo conduce a mayor eficiencia alimenticia, sino también a la reducción de costos generales en la producción (Durán, 1990; Danilo, 2005).

El destete del lechón es un proceso fisiológico normal, que en las producciones se realiza a una temprana edad, resultando en un hecho brusco y rápido. Así, mientras más temprano es el destete, el reto que se presenta para obtener resultados satisfactorios es más grande, sobre todo en las primeras semanas posdestete. Por ello, esta etapa se convierte en el principal período crítico de los lechones debido a la susceptibilidad incrementada a desórdenes del sistema digestivo, como las diarreas (Lallès *et al.*, 2004).

El destete implica complejas tensiones psicológicas, sociales, ambientales y dietéticas que interfieren con el desarrollo del intestino y su adaptación (Cuadro 1). Dentro de los principales factores que influyen en las enfermedades digestivas posdestete, se encuentran las dietas con componentes altamente complejos, y de baja digestibilidad, como es el caso de algunas proteínas (Lallès *et al.*, 2004).

Generalmente, el destete se caracteriza por el bajo consumo de alimento y el poco aumento de peso en los animales (Lallès *et al.*, 2004), esto como resultado a la transición brusca del consumo de la leche de la cerda que consume el animal, que es de fácil digestión y nutritiva (Opapeju *et al.*, 2008), a dietas que además de ser físicamente diferentes (de líquido a sólido), cambian en su composición resultando en dietas menos digestibles (Le Dividich y Sève, 2000). Por ello, el lechón, tiene que pasar por un proceso de adaptación de su sistema digestivo (Dirkzwager *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Destete en cerdos jóvenes: contexto, trastornos intestinales inducidos y principales factores de riesgo (Lallès *et al.*, 2014).

Contexto: El destete está directamente relacionado a la inmadurez del animal adicionado a múltiples factores que originan el estrés:

- Animales inmaduros en términos de:
 - Comportamiento (general y de alimentación).
 - Funciones del tracto gastrointestinal (secreciones, motilidad, digestión, absorción, defensa, etc.).
 - Sistema inmunológico (intestinal y general).
- Estrés psicológico
 - Abrupta separación de la madre.
 - Mezclado con cerdos de otra camadas.
 - Nuevo ambiente (corral, construcción, granja, etc.).
- Estrés nutricional
 - Suspensión del consumo de leche (líquido, altamente digestible y palatable, etc.).
 - Acceso a alimento seco (menos palatable y digerible).
 - Acceso separado a agua potable.

Desórdenes intestinales inducidos

- Alteraciones en la función y arquitectura intestinal.
 - Morfología: atrofia de la vellosidad seguido de hiperplasia de la cripta.
 - Reducción de las actividades de las enzimas digestivas intestinales.
 - Perturbación de la absorción intestinal, la secreción y permeabilidad
- Asociada a bacterias patógenas entéricas.
 - Bacterias (*Escherichia coli*, enterotoxigénica o enteropatógena).
 - Virus: rotavirus.

Principales factores de riesgo

- Factores dietéticos
 - Bajo o errático consumo de alimento
 - Presencia de factores antinutricionales (factores antitripsicos, lectinas, antígenos, etc.)
 - Dietas con componentes de alta complejidad y baja digestibilidad (proteínas, carbohidratos).
 - Alto nivel de proteína (alta capacidad buffer)
 - Factores de camada
 - Tamaño de camada grande / bajo peso al destete,
 - Alta densidad de lechones post-destete.
 - Bajo nivel de higiene.
 - Inadaptación ambiental (baja temperatura, aire de baja calidad, etc.).
-

Se ha documentado que los niveles dietéticos de proteína cruda (PC) juegan un papel importante en el estado de salud de cerdos destetados (Nyachoti *et al.*, 2006; Opapeju *et al.*, 2008). Altas cantidades de PC pueden predisponerlos a diarreas posdestete por la proliferación de bacterias patógenas en el tracto gastrointestinal, por favorecer la fermentación de la proteína no digerida (Bikker *et al.*, 2006; Htoo *et al.*, 2007; Opapeju *et al.*, 2008), aumentando la concentración de metabolitos microbianos intestinales tales como el amonio, algunas aminos y ácidos grasos volátiles de cadena ramificada (Htoo *et al.*, 2007). Estos metabolitos se consideran perjudiciales para el animal huésped, pudiendo ser un factor predisponente para la diarrea posdestete (Bikker *et al.*, 2006; Nyachoti *et al.*, 2006; Opapeju *et al.*, 2008).

Sin embargo, la prohibición del uso de antibióticos como promotores de crecimiento en un número creciente de países en todo el mundo, ha llevado a la exploración de estrategias nutritivas para reducir la incidencia y severidad de las diarreas (Nyachoti *et al.*, 2006; Heo *et al.*, 2008; Opapeju *et al.*, 2008).

Entre las alternativas nutricionales para disminuir los problemas digestivos en los lechones se encuentra la reducción del nivel de PC dietaria (Htoo *et al.*, 2007; Heo *et al.*, 2008; Lordelo *et al.*, 2008; Barea *et al.*, 2009) que ha sido una de las más estudiadas, y por lo tanto, puede usarse como parte de la estrategia global para el manejo nutricional del cerdo destetado (Opapeju *et al.*, 2008).

2.2 Cambios posdestete en el lechón

Al momento del destete, las defensas inmunitarias del lechón se encuentran muy bajas, dado que las inmunoglobulinas del calostro se degradan y diluyen en el torrente sanguíneo de manera progresiva en las dos primeras semanas de vida.

Las situaciones a las que se somete al lechón al momento del destete son:

- Estrés social, al retirar al animal de la madre y colocarlo con otros lechones.

- Mala nutrición, por el cambio de alimento.
- Adaptación del sistema digestivo, sus funciones aún no han madurado. La producción de HCl, pepsina, secreciones pancreáticas y biliares son poco activas.
- Cambios histológicos e inmunológicos que predisponen al animal a problemas digestivos.
- Desequilibrio en flora intestinal favoreciendo la proliferación de bacterias nocivas, como *E. Coli*, siendo habitante normal del aparato digestivo del lechón (Le Bellego y Noblet, 2002; Heo *et al.*, 2008).

2.2.1 Adaptaciones digestivas

El peso del tracto gastrointestinal del lechón aumenta tres veces (de 2 a 6% del peso corporal) entre el nacimiento y las dos semanas posdestete. La mayor parte de este incremento es debido a los nutrientes ingeridos por vía enteral. Durante la reanudación de la ingesta, el aumento de peso del ID excede al aumento del peso corporal, lo que indica la prioridad del crecimiento de los tejidos intestinales. Las necesidades de los nutrientes del intestino están cubiertas por las rutas enteral y arteriales, al ser esenciales para sostener el crecimiento y la proliferación normal (Lallès *et al.*, 2004).

La ingestión de la dieta, luego del destete, estimula el desarrollo del sistema digestivo del lechón, pero hay un desequilibrio en el tamaño del estómago que no se desarrolla a la par del resto del tracto gastrointestinal, limitando así el consumo de alimento (Durán, 1990).

La tasa de síntesis de proteína después del destete se incrementa en el intestino, mientras que disminuye en el músculo y la síntesis proteica intestinal está poco influenciada por la deficiencia de proteína. Esta protección del intestino de la deficiencia de proteína ha sido confirmada en los lechones alimentados con altos niveles de energía (Lallès *et al.*, 2004).

2.2.1.1 Acidez gástrica

Durante la lactancia, la caseína presente en la leche es coagulada por la acción combinada del HCl y la pepsina. El ácido láctico que se produce con el metabolismo de la lactosa ayuda a tener una acidez adecuada, actuando además como obstáculo para bacterias no deseadas. Al destete, la acidez no llega a su punto óptimo debido a la nula producción de ácido láctico, y a que la secreción del HCl aún no es adecuada, ocasionando que las proteínas que ingiere escapen a la acción de la pepsina gástrica. Junto con esto el estómago, que por su tamaño llega pronto a su máxima capacidad y una vez saturado con alimento causa que la digestibilidad de las proteínas descienda aún más. Todas estas circunstancias, según Durán (1990), ocasionan alteraciones intestinales que pueden culminar en la producción de diarrea en el lechón. Tales trastornos intestinales pueden ser:

- Secreción de fluidos a la luz intestinal disminuida.
- Al no existir un sustrato adecuado, las enzimas intestinales no podrán digerir los oligopéptidos por completo.
- Llegada de péptidos, aminoácidos y azúcares al intestino, donde son fermentados y acompañados por la proliferación de bacterias enteropatógenas, como *Escherichia Coli* (Bikker *et al.*, 2006; Heo *et al.*, 2008).

2.2.1.2 Actividad enzimática

El requerimiento alimenticio del lechón a las dos semanas posparto es cada día mayor, y en la medida en la que crece el animal, su capacidad digestiva para desdoblar lactosa disminuye (Shimada, 2009). La actividad de la amilasa es prácticamente nula antes del destete (Lallès *et al.*, 2004). Por ello es necesario acostumar a los lechones al consumo precoz de alimento, de manera que cuando la producción de leche de la madre comience a disminuir, el faltante sea cubierto por un preiniciador. Dependiendo en gran medida de este preiniciador, el cual debe tener alrededor de 20% de proteína y 3.4 Mcal de EM/kg, será satisfactorio el

destete del lechón. La alimentación debe ser “poca y frecuente”, para enseñar al lechón a comer y pueda digerir adecuadamente la dieta (Shimada, 2009).

La secreción de enzimas digestivas pepsina y tripsina es muy baja hasta los 21-28 días de vida. La lactasa disminuye después del destete; la maltasa y la amilasa aumentan conforme a la presencia de almidón en la dieta (Shimada, 2009). Conforme madure el sistema digestivo, aumentarán los niveles de la producción de enzimas (Lallès *et al.*, 2004) (Figura 1).

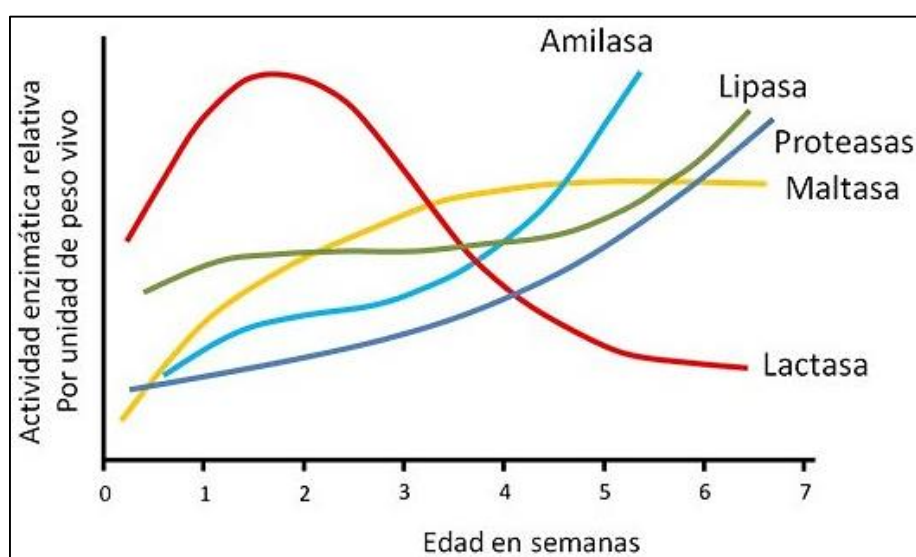


Figura 1. Cambios de la secreción enzimática en las primeras semanas de vida del cerdo (Sanglid *et al.*, 1995).

2.3 Importancia de las proteínas y aminoácidos en los alimentos

En los alimentos mezclados, la proteína se define como el contenido de nitrógeno (N) multiplicado por el factor 6.25, basándose en la suposición de que el contenido de nitrógeno es 16 g de N/100 g de proteína. Las proteínas están compuestas de aminoácidos y son nutrientes fundamentales. Su suministro en proporciones adecuadas determina el ajuste del concentrado de proteína de la dieta (NRC, 2012).

Las proteínas son las sustancias alimenticias principales de los animales, y el organismo las digiere, para asimilarlas en sus componentes básicos (Mora, 2007). En los mamíferos, las proteínas están formadas por 20 α -aminoácidos, aunque en la naturaleza se han descrito hasta 300 diferentes. Cada aminoácido tiene un grupo carboxilo, un grupo amino y una cadena lateral característica (grupo "R"), enlazada al átomo de carbono α (Figura 2). Todos estos grupos se encuentran enlazados en las proteínas por medio de enlaces peptídicos, que son uniones amídicas entre el grupo carboxilo α de un aminoácido y el grupo amino α de otro (Figura 3). La secuencia lineal de los aminoácidos contiene la información necesaria para generar una molécula proteínica con una forma tridimensional única (Champe *et al.*, 2007).

La importancia de los aminoácidos (AA) radica en que son vitales en todos los procesos metabólicos (Mora, 2007). La síntesis proteica requiere de los componentes principales, los aminoácidos, y con base a la capacidad de un organismo para producirlos son clasificados en esenciales y no esenciales (Shimada, 2009).

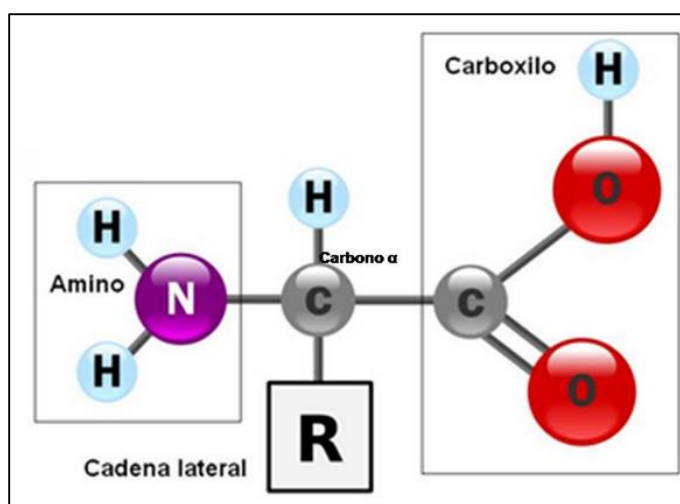


Figura 2. Estructura general de un aminoácido (UNAM, 2014).

Todos los aminoácidos son esenciales a nivel metabólico, sin embargo, las células pueden sintetizar a los *no esenciales* (mediante esqueletos de carbono, derivados principalmente de glucosa y otros aminoácidos, y grupos amino,

derivados de otros aminoácidos presentes por encima de la exigencia), por lo que no necesitan estar en el alimento, mientras que los llamados *esenciales* no se sintetizan, o el ritmo de su síntesis no es suficiente para satisfacer los requerimientos metabólicos, por lo que deben estar obligatoriamente en el alimento (Cuadro 2) (NRC, 2012; Miller *et al.*, 1991).

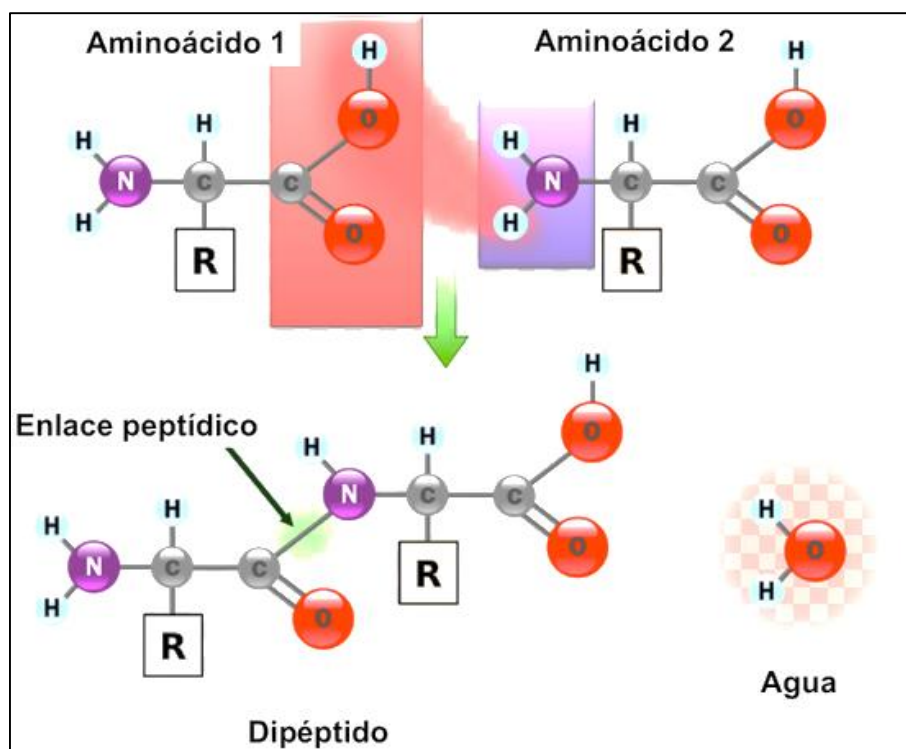


Figura 3. Enlace peptídico (UNAM, 2014).

Generalmente los aminoácidos esenciales son los mismos para todas las especies pecuarias (Miller *et al.*, 1991). El número y tipo de aminoácidos esenciales dependerá de la especie animal, de la etapa fisiológica en la que se encuentre y de su fin zootécnico (Caravaca *et al.*, 2005).

Los granos de cereales (maíz, sorgo, cebada o trigo), son los ingredientes principales de la mayoría de las dietas de cerdos y proporcionan generalmente 30 a 60% de las necesidades totales de aminoácidos. Sin embargo, en las dietas se deben proporcionar fuentes de proteína, para asegurar un equilibrio entre los

aminoácidos esenciales y cantidades adecuadas de éstos. Los suplementos de aminoácidos sintéticos pueden usarse también para aumentar su ingesta. Esto es importante si uno de los objetivos dentro de la producción es reducir la excreción de nitrógeno y los niveles de proteína en la dieta (NRC, 2012).

Cuadro 2. Clasificación de aminoácidos
(Wu, 2010).

AMINOÁCIDOS	
ESENCIALES	NO ESENCIALES
Arginina	Ácido aspártico
Fenilalanina	Ácido glutámico
Histidina	Alanina
Isoleucina	Asparagina
Leucina	Cisteína
Lisina	Glutamina
Metionina	Glicina
Prolina	Serina
Treonina	Tirosina
Triptófano	
Valina	

Los requerimientos de aminoácidos en cerdos en crecimiento y finalización, expresados en términos de concentración dietaria, aumentan tal como se incrementa la densidad energética en el alimento (NRC, 2012).

Las dietas se formulan generalmente con ayuda de programas computacionales, a partir de las materias primas de una base de datos, considerando la cantidad de cada uno de los nutrientes registrados en la matriz nutricional, la disponibilidad, precio y restricción de cada uno, tratando de atender las exigencias de los nutrientes con el costo más bajo posible. El alimento formulado debe estar balanceado, sin tener excesos o deficiencias de nutrimentos.

Una especial atención se debe dar al nivel de proteína dietético. El exceso de proteína en las dietas para cerdos, (por ejemplo, superior a 25%) es un desperdicio, que además contribuye a la contaminación ambiental y comúnmente resulta en reducción en el aumento de peso y en baja eficiencia alimenticia (Le Bellego y Noblet, 2002; Heo *et al.*, 2008). La adición de cantidades excesivas de aminoácidos sintéticos, como de arginina, leucina, metionina, pueden reducir el consumo de alimento, y por lo tanto, la tasa de crecimiento en los animales. Además, grandes ingestas de aminoácidos individuales pueden llevar a una variedad de síndromes negativos que han sido clasificados como toxicidad, antagonismo y desequilibrio, dependiendo de la naturaleza del efecto (NRC, 2012).

Por el contrario, cuando un animal es alimentado con una fuente proteica que es deficiente en la cantidad requerida de un aminoácido, su desempeño productivo se verá limitado. Entonces al primer aminoácido que al adicionarse en forma aislada, produce la primera respuesta productiva, se le conoce como limitante (Mora, 2007), descrito por la teoría del barril (Figura 4) (Shimada, 2009). En el cerdo, el principal aminoácido limitante es la lisina (Lys) (Miller *et al.*, 1991), siguiendo la treonina (Thr), metionina (Met) y triptófano (Trp) (Figura 5), y según otros autores la valina (Val) (Figura 6) o la isoleucina (Ile) es el próximo aminoácido limitante (Mavromichalis *et al.*, 2001; Figueroa *et al.*, 2002; Theil *et al.*, 2003; Wiltafsky *et al.*, 2009).



Figura 4. Teoría del barril.

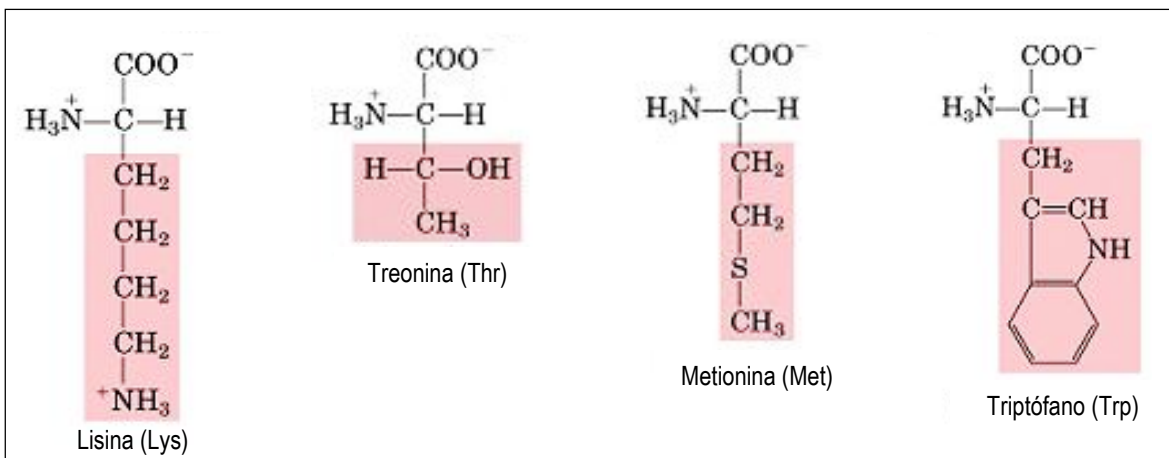


Figura 5. Estructura química de los aminoácidos limitantes (Lehninger, 2009).

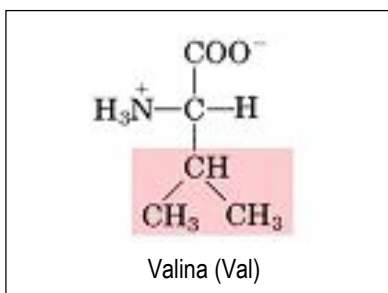


Figura 6. Estructura química de la valina (Val) (Lehninger, 2009).

Por lo tanto, los alimentos balanceados deben atender las exigencias de lisina y a un perfil de proteína ideal adecuado. Los requerimientos individuales de cada uno de los aminoácidos esenciales deben relacionarse a las exigencias de lisina digestible (proteína ideal) y el alimento debe ajustarse para atender las cantidades mínimas exigidas para cada uno de los primeros aminoácidos limitantes (treonina, metionina, triptófano, valina, isoleucina, leucina, histidina, fenilalanina y tirosina), reduciendo los excesos de aminoácidos esenciales y no esenciales a partir de la reducción de PC. Así, el nivel de PC debe ser una consecuencia de la mejor combinación de materias primas y no el origen del cálculo del alimento (Nogueira, 2005).

En función de que las dietas no tengan un exceso o escasez de proteína y que haya un equilibrio entre los aminoácidos evitando antagonismos, se generó el concepto de proteína ideal, el cual expresa los requerimientos de aminoácidos esenciales como relaciones ideales con la lisina, pues éstas no se alteran en forma relevante. Así, se considera que al determinar en forma precisa únicamente la necesidad de lisina, los requerimientos de los demás aminoácidos por estar relacionados, pueden conocerse por cálculos matemáticos (Miller *et al.*, 1991; Shimada, 2009).

2.4 El desarrollo corporal del cerdo

El desarrollo corporal del cerdo, es un proceso muy complejo que requiere de dos condiciones fundamentales: 1) genética (ADN), la cual aporta la información de la especie y del individuo heredada de los padres, y 2) alimentación, que aporta los nutrientes requeridos para el óptimo desarrollo. Por lo tanto, crecer es un proceso multifactorial y complejo que comprende fenómenos de aumento de tamaño (hipertrofia) y cantidad (hiperplasia) de los tejidos. El crecimiento es el aumento de las dimensiones lineales del cuerpo y/o del peso vivo relacionado a cambios importantes en la composición corporal. En la fase postnatal el crecimiento es lento, seguido de un alto índice de desarrollo. De la misma manera, es el crecimiento de los diferentes tejidos y órganos, pero se realiza en diferentes tiempos (Quiniou y Noblet, 1995; Lindeman *et al.*, 1986; Álvarez *et al.*, 2009).

Los principales indicadores del crecimiento animal son el incremento de peso vivo (masa corporal) y el tamaño (longitud y altura). En realidad la combinación peso- tamaño resulta el indicador más frecuente al interrelacionarse según la etapa de desarrollo. En general, el desarrollo corporal puede ser dividido en tres etapas: la primera, caracterizada por un crecimiento relativamente armónico entre peso y tamaño; la segunda, por el incremento significativo en el tamaño (crecimiento puberal), y una tercera caracterizada por el incremento significativo en el peso (adulto). Los animales crecen no solo incrementando su peso corporal, sino también combinando las proporciones corporales. Primero, el crecimiento procedente del

cráneo fluye hacia la parte facial de la cabeza y hacia la región lumbar (aumento en longitud del cuerpo), y luego se inicia por la porción distal de las extremidades avanzando hacia la región ventral del cuerpo para terminar proyectándose también en la región lumbar (aumento en altitud del cuerpo). Así, se puede inferir que el crecimiento se desarrolla primero en largo y después en alto con la particularidad de que le corresponde a la región lumbar ser la parte del cuerpo que alcanza la madurez más tardía en desarrollo (Álvarez *et al.*, 2009).

Se ha demostrado que durante el crecimiento no solamente existe un orden anatómico de desarrollo, sino que también existe un orden de prioridad en relación con la “colocación” de los nutrientes en los diferentes tejidos, correspondiéndole el primer lugar a los sistemas nervioso (cerebro en particular) y digestivo, lo que garantiza el ajuste de las funciones corporales y el aporte de nutrientes al resto del cuerpo, seguidos por los huesos y músculos que aseguran el movimiento y la reacción del cuerpo, y el tejido adiposo (grasa corporal) como fuente de reserva energética. En general, los órganos vitales empleados para el mantenimiento de la vida son los primeros en desarrollarse. Algunas partes, como el tubo digestivo y la cabeza se desarrollan precozmente por la importancia que tienen en el desarrollo del resto del cuerpo, en tanto que las regiones de mayor interés económico para el consumo humano como el lomo es de desarrollo lento (Álvarez *et al.*, 2009).

2.4.1 Tracto gastrointestinal del lechón

La ontogénesis del tracto gastrointestinal (TGI) de los lechones depende de diferentes factores fisiológicos, ambientales y nutrimentales. Las diferentes fases del desarrollo del aparato digestivo parecen estar adaptadas a las necesidades del animal para nutrirse, y para protegerse de los patógenos que amenazan constantemente su supervivencia, debido a la inmadurez de sus funciones digestivas e inmunológicas (Reis *et al.*, 2012).

El TGI de los cerdos (Figura 7) se desarrolla muy poco durante la vida fetal, en relación con otras especies, pero se acelera después del nacimiento, donde el

sistema digestivo pasa por un periodo de intenso desarrollo, aumentando su longitud, diámetro y peso durante los primeros días de vida, pero los órganos digestivos están morfofisiológicamente adaptados a la alimentación láctea (calostro y leche), permitiendo un alto desempeño de los animales durante la fase de lactación.

Desde el nacimiento hasta la sexta semana de vida, el lechón aumenta alrededor de 7.5 veces su peso, cada uno de los órganos pasa por transformaciones importantes. El TGI alcanza la madurez alrededor de las 12 semanas de vida (Quiniou y Noblet, 1995; Lindeman *et al.*, 1986).

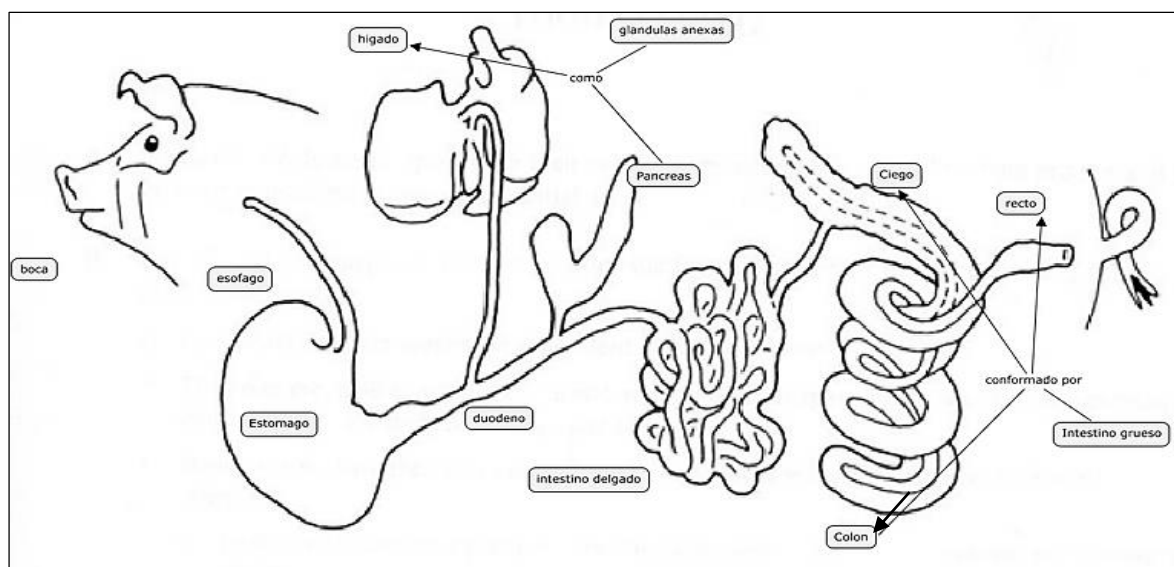


Figura 7. Tracto gastrointestinal del cerdo (Cmap, 2015).

Durante el destete, el aparato digestivo sufre un revés en su desarrollo durante la primera semana posdestete, ocasionando un periodo de subnutrición transitoria en el lechón. Tras un nuevo periodo de adaptación a la nueva alimentación y al nuevo ambiente, éste recupera el ritmo de desarrollo de todos sus sistemas vitales, principalmente del sistema digestivo. En este proceso, la cantidad de alimento que se proporciona al cerdo recién destetado y las materias primas que componen su alimento, desempeñan un papel importante en la maduración del TGI (Reis *et al.*, 2012).

III. JUSTIFICACIÓN

La reducción del nivel de proteína cruda en las dietas para cerdos ha sido estudiada como una alternativa para disminuir las consecuencias a las que conlleva su uso excesivo. Al disminuir el porcentaje de PC en la formulación de las dietas no solo se busca disminuir las diarreas posdestete, que han sido controladas por mucho tiempo con el uso desmesurado de antibióticos (usados también como promotores de crecimiento), sino también se busca que disminuya la excreción de nitrógeno al medio ambiente, tema que toma mayor importancia con el paso del tiempo.

La disminución de la proteína cruda puede llegar a limitar el desempeño productivo del lechón (crecimiento y desarrollo corporal), sin embargo, es posible minimizar este efecto gracias a que existen aminoácidos cristalinos, los cuales pueden adicionarse a las dietas en la cantidad que sea necesaria. Se conoce que el principal aminoácido limitante es la Lys, siguiendo la Thr, Met y el Trp, y en varios estudios se ha discutido si el siguiente aminoácido limitante es la Val o la Iso, siendo los resultados contradictorios.

Por lo anterior la finalidad del presente experimento fue determinar el efecto de la adición de la valina a una dieta baja en proteína sobre la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo diario de alimento (CDA), la composición química corporal del lechón y sobre la composición química de la ganancia de peso durante las primeras dos semanas posdestete.

IV. HIPÓTESIS

La suplementación de valina a una dieta baja en proteína permitirá obtener parámetros productivos similares a los resultantes de una dieta alta en proteína con antibiótico. Adicionalmente no se esperan diferencias en la incidencia y severidad de las diarreas en lechones recién destetados que consuman una dieta alta en proteína con antibiótico o una baja en proteína corregida con aminoácidos esenciales y sin antibiótico.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Conocer los efectos del nivel de PC dietética con o sin la adición de antibiótico o de valina cristalina sobre la incidencia y la severidad de las diarreas, los parámetros productivos, la composición química corporal y la composición química de la ganancia de peso del lechón, durante las dos primeras semanas posdestete.

5.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto del consumo de dietas con diferentes niveles de proteína cruda adicionadas o no con antibiótico o valina cristalina durante las dos primeras semanas posdestete sobre:

- La incidencia y severidad de diarreas posdestete.
- El desempeño zootécnico en base a los parámetros productivos, tales como consumo diario de alimento (CDA), la ganancia diaria de peso (GDP), la eficiencia alimenticia (EA) y la ganancia de peso vacío
- La composición química corporal del lechón en términos de agua, materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), ceniza (Cen) y energía bruta (En).
- La composición química de la ganancia de peso en vísceras más sangre y en canal en términos de agua, materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y energía bruta (En).

VI. MATERIAL Y MÉTODO

El experimento se realizó en la granja experimental porcina del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, en el municipio de Colón, Querétaro, la cual cuenta con la infraestructura apropiada y con el personal adecuado para realizar trabajo experimental, además de que se pueden controlar de manera conveniente la higiene y el manejo. Los análisis químicos de las

muestras se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Naturales, de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Se realizaron dos experimentos con una duración de dos semanas cada uno. En el experimento 1 se estudió la incidencia y severidad de diarreas posdestete y el comportamiento zootécnico de los lechones, y en el experimento 2 se evaluó la composición química corporal y la composición química de la ganancia de peso de los lechones, durante las dos primeras semanas posdestete.

6.1 Experimento 1. Diarreas y comportamiento zootécnico de los lechones.

Se llevó a cabo una prueba de comportamiento en donde se utilizaron 108 lechones cruza de Fertilis 20xG Performance (Genetiporc) destetados a los 25 ± 1.2 días, con un peso inicial de 7.3 ± 1 kg. Los lechones se alojaron en 18 corrales de destete (seis lechones por corral) elevados, provistos de bebedero de chupón y comedero con seis bocas, y fueron asignados a tres dietas experimentales (seis corrales por dieta) (Figura 8).



Figura 8. Corral de alojamiento.

Los lechones tuvieron libre acceso al alimento y agua durante todo el periodo experimental. Las tres dietas experimentales se plantearon de la siguiente manera (Cuadro 3 y 4):

- *APCa*: dieta alta en proteína cruda (24%) con antibiótico, sin adición de valina cristalina,
- *BPC*: dieta baja en proteína cruda (18%) sin antibiótico, sin adición de valina cristalina, y
- *BPCv*: dieta baja en proteína cruda (18%) sin antibiótico, con adición de valina cristalina.

Cuadro 3. Composición centesimal de las dietas experimentales.

Ingredientes (%)	Dietas		
	APCa	BPC	BPCv
Maíz amarillo	43.35	52.35	52.11
Pasta de soya	15.00	15.00	15.00
Concentrado de soya	4.00	--	--
Harina de pescado Menhaden	9.65	3.30	3.30
Suero de Leche	24.69	24.69	24.69
Aceite de maíz	0.93	0.82	0.82
Lisina	0.04	0.60	0.60
Aminogut*	0.80	0.80	0.80
Treonina	--	0.20	0.20
Metionina	0.02	0.22	0.22
Triptófano	--	0.06	0.06
Isoleucina	--	0.05	0.05
Valina	--	--	0.17
Sal Común	0.50	0.50	0.50
Carbonato de calcio	--	0.38	0.38
Fosfato Bicálcico	0.62	0.66	0.66
Lincospectin**	0.05	--	--
Minerales	0.10	0.10	0.10
Premezcla vitaminas-minerales [£]	0.25	0.25	0.25

*L-glutamina y L- ácido glutámico (1:1), (Ajinomoto, Japón); **Lincospectin premix, 2.2 g lincomicina, 2.2 g espectinomina (Zoetis, USA); [£]Premezcla Vitaminas y minerales (vitaminas por kilogramo de dieta: vitamina A 10,200 UI; vitamina D 1980 UI; vitamina E 60 UI; Vitamina K 1.20 mg; colina 967 mg; niacina 36 mg; pantotenato 17 mg; riboflavina 7.2 mg; vitamina B12 38 µg; tiamina 0.3 mg; piridoxina 0.31 mg; biotina 0.08 mg; folato 0.75 mg; cobre 14.4 mg; yodo 800 mg; hierro 105 mg; manganeso 36 mg; selenio 0.3 mg; zinc 144 mg).

Cuadro 4. Composición química de las dietas experimentales.

	Dietas		
	APCa	BPC	BPCv
Materia seca (%) [□]	92.80	93.11	92.91
Proteína cruda (%) [□]	24.66	18.00	18.00
Energía metabolizable (Kcal/kg) [⊗]	3300	3300	3300
Aminoácidos esenciales (%)			
Arginina	1.16	0.75	0.72
Histidina	0.63	0.44	0.44
Isoleucina	0.87	0.69	0.63
Leucina	1.49	1.06	1.1
Lisina	1.27	1.11	1.2
Metionina y Cisteína	0.71	0.71	0.65
Metionina	0.39	0.41	0.37
Fenilalanina	0.87	0.61	0.59
Treonina	0.86	0.73	0.69
Valina	1.18	0.83	0.98
Aminoácidos no esenciales (%)			
Alanina	0.99	0.69	0.68
Ácido aspártico	1.85	1.25	1.24
Ácido glutámico	3.78	2.95	2.91
Glicina	0.91	0.55	0.55
Prolina	1.24	1.02	0.92
Serina	0.87	0.62	0.61
Tirosina	0.75	0.53	0.5

□ Valor analizado expresado en base seca; ⊗ Valor calculado expresado en base seca.

6.2.1 Manejo experimental

Los animales se pesaron al día 0, 7 y 14 posdestete, para poder realizar el cálculo de la ganancia diaria de peso (GDP) (Figura 9). Se calculó el consumo diario de alimento (CDA), semanalmente, por la diferencia entre la cantidad de alimento ofrecida y la cantidad de alimento rechazada, y también se calculó la eficiencia alimenticia (EA) dividiendo la GDP entre el CDA.

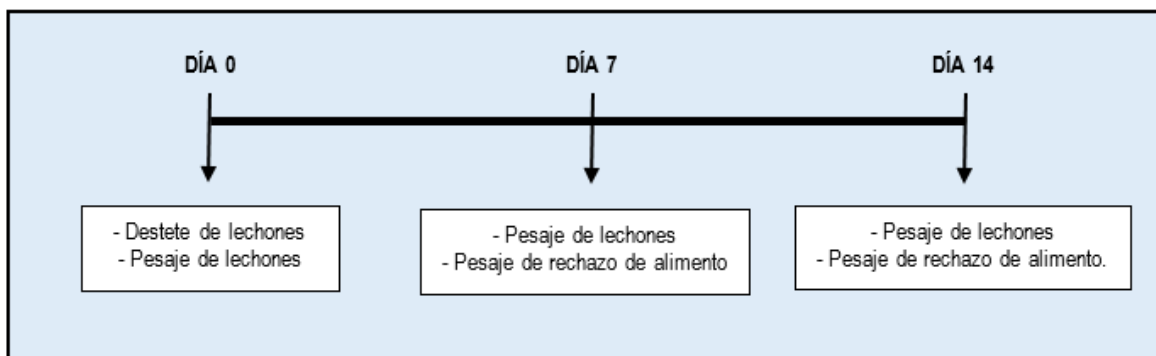


Figura 9. Cronograma del manejo experimental de los lechones. Experimento 1.

6.1.2 Monitoreo de diarreas

Diariamente, por medio de una evaluación visual de las heces, se determinó la presencia e incidencia de las diarreas. Se utilizó una escala de 0 a 3: el valor 0 indicó heces normales (ausencia de diarrea); el valor 1 describió heces pastosas (diarrea ligera); el valor 2 heces semi-líquidas (diarrea moderada), y el valor 3 heces muy líquidas (diarrea severa) (Ball y Aherne, 1987). La incidencia de diarrea se expresó en función del número de días en que se observó la presencia de diarrea en cada corral, en cada semana experimental. El índice de severidad de diarrea semanal se calculó al sumar la calificación diaria obtenida y dividiendo entre siete días.

6.1.3 Análisis estadístico

Las variables para los experimentos se analizaron utilizando el paquete estadístico SAS (2002). Para la incidencia y severidad de diarreas se utilizó un diseño de medidas repetidas en el tiempo; mientras que para el análisis de los parámetros productivos se utilizó un diseño completamente al azar. En los dos casos la unidad experimental fue el corral. Para todas las variables, las diferencias estadísticas se aceptaron con un valor de $P < 0.05$ y las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1980).

6.2 Experimento 2. Composición química corporal y la composición química de la ganancia de peso durante las dos primeras semanas posdestete.

En este experimento se utilizaron 53 lechones cruza de Fertilis 20xG Performance (Genetiporc) destetados a los 22 ± 1.4 días de vida con un peso promedio inicial de 7.4 ± 1.1 kg. Cinco lechones fueron el grupo inicial (GI), los cuales fueron sacrificados el día del destete (d0). 48 lechones se alojaron en 12 corrales (4 lechones por corral) de destete elevados, provistos de bebedero de chupón y comedero con seis bocas (Figura 1), y fueron asignados a tres dietas experimentales (4 corrales por dieta), las cuales fueron las mismas del experimento 1 (Cuadros 3 y 4). Los lechones tuvieron libre acceso al alimento y agua, durante todo el periodo experimental.

El manejo experimental en el segundo experimento fue similar al del primer experimento. Los animales se pesaron al día 0 y 14 posdestete para calcular la ganancia diaria de peso (GDP) durante el periodo experimental (Figura 10).

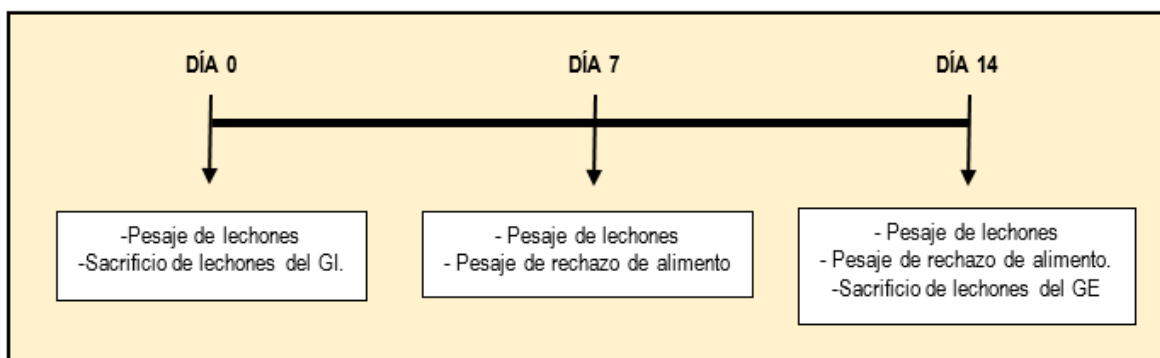


Figura 10. Cronograma del manejo experimental de los lechones. Experimento 2.

6.2.1 Selección de los animales

6.2.1.1. Animales sacrificados

Al día 14 posdestete, se llevó a cabo el sacrificio de 15 de los 53 lechones (cinco por dieta) los cuales constituyeron el grupo experimental (GE), seleccionados bajo el criterio de peso similar. Para la estimación de la ganancia de peso vacío de

los lechones del GE y de la composición química de la ganancia de peso vacío durante las dos primeras semanas posdestete, se utilizó el método de sacrificio comparado descrita por Le Bellego y Noblet (2002). Con este método se estimó el peso vacío y la composición química corporal al día del destete (día 0) de los lechones del GE, a partir de datos obtenidos de un grupo inicial (GI) de lechones sacrificados al destete, constituido por cinco lechones procedentes de las mismas camadas de los animales del GE, con peso inicial de 7.69 ± 1.5 kg.

6.2.1.2. Procedimiento del sacrificio

El sacrificio se procedió de acuerdo a los lineamientos descritos en el Código Sanitario para los Animales Terrestres (2014) en el volumen I, en los capítulos 7.5: Sacrificio de animales; 7.6: Matanza de animales con fines profilácticos; y 7.8: Utilización de animales en la investigación y educación, procurando el bienestar de los animales (OIE, 2014).

Para tal, los lechones se anestesiaron con isoflurano, seguido de una dosis letal de barbitúrico (50 mg/kg de pentobarbital sódico) vía intracardiaca.

6.2.1.3. Toma de muestras pos-sacrificio

a) Colecta de Sangre: nulos los signos vitales en cada lechón, se colectó la sangre en recipientes plásticos luego de un corte en la yugular.

b) Colecta de vísceras: con el cuerpo del animal en decúbito dorsal, se incidió en la región ventral para extraer las vísceras, las cuales fueron vaciadas de sus contenidos y agrupadas en bolsas plásticas.

c) Obtención de la mezcla vísceras más sangre: La sangre colectada se unió al paquete de vísceras vacías de sus contenidos, se pesaron y se congelaron a -40°C .

d) Canal: El cuerpo del animal vacío de sus vísceras (cabeza, cuerpo, miembros locomotores, piel y pelo) se denominó canal. Estas se lavaron, se pesaron y se conservaron -40°C .

6.2.2 Determinación de la composición química corporal

Las vísceras vacías (libres de contenido) y la sangre de cada animal congeladas se cortaron en trozos pequeños con cuchillo, se molieron en una licuadora “Kenmore” modelo LMU-9018. Una vez homogeneizada la mezcla vísceras más sangre se tomó una muestra de 0.5 kg, la cual se almacenó en congelación a -40°C .

Las canales congeladas se seccionaron en tiras de 2 cm de ancho, con ayuda de una sierra eléctrica “Silver Fox”, almacenándolas envueltas con plástico adherible a -40°C . Posteriormente, se molieron los trozos de cada canal, con un molino LASSER modelo “Pequeño gigante”. Una vez homogeneizada la canal molida, se tomó una muestra de 0.5 kg, la cual se congeló a -40°C .

Las muestras de las mezclas vísceras + sangre y de las canales se liofilizaron, se molieron y se almacenaron en bolsas plásticas debidamente etiquetadas y se conservaron en refrigeración hasta el momento de sus análisis (Figura 11).



Figura 11. Molienda de muestras para los análisis químicos.

A todas las muestras se les determinó la proteína cruda (PC) por el método Kjeldahl (NX6.25; AOAC, 2002) después de una digestión ácida en un digestor BUCHI K-436, y de su destilación en una unidad Auto Kjeldahl BUCHI K-370 (Figura 12).



Figura 12. Digestor y destilador de muestras para determinación de proteína cruda.

La energía bruta (En) se determinó con una bomba calorimétrica PARR 1266; la materia seca (MS) en estufas de secado; las cenizas (Cen) en mufla Industrias Sola Basic “Lindberg” 58, y el extracto etéreo (EE) en el aparato Soxhlet BUCHI 810 (Figura 13) (AOAC, 2002).



Figura 13. Determinación de extracto etéreo.

6.2.3 Cálculos para la estimación de la ganancia de peso vacío y de su composición química.

Para la estimación de la ganancia de peso vacío (GPva) de los lechones del grupo experimental (GE, animales sacrificados al día 14 posdestete) y de la composición química de esta GPva en términos de agua, materia seca, proteína cruda, lípidos, cenizas y energía durante las dos primeras semanas posdestete, se siguió una serie de cálculos en pasos secuenciales que se describen a continuación:

A. Cálculos del peso vacío y del rendimiento de vísceras más sangre y de canal de los animales del grupo inicial (GI) y del grupo experimental (GE).

Para calcular el rendimiento de las vísceras más sangre y de canales de los lechones se siguieron los siguientes pasos y fórmulas:

A₁. Se calculó el promedio del peso vacío de los lechones sacrificados al día del destete, es decir, del grupo inicial:

$$\mu PvaGI = \mu PcanGI + \mu PvisGI$$

Donde:

$\mu PvaGI$: Promedio del peso vacío de los lechones del grupo inicial.

$\mu PcanGI$: Promedio del peso de las canales del grupo inicial.

$\mu PvisGI$: Promedio del peso de la mezcla de vísceras vacías más sangre del grupo inicial.

A₂. Se realizó el cálculo de la proporción del peso vacío de los lechones del grupo inicial, respecto al peso al sacrificio (GI):

$$\mu PropPvaGI = \frac{\mu PvaGI}{\mu PsfGI}$$

Donde:

$\mu PropPvaGI$: Promedio de la proporción del peso vacío de los lechones del grupo inicial.

$\mu PvaGI$: Promedio del peso vacío de los lechones del grupo inicial, calculado el paso A₁.

$\mu PsfGI$: Promedio del peso al sacrificio de los lechones del grupo inicial.

A₃. Posteriormente se hizo el cálculo del rendimiento de la mezcla vísceras más sangre y de canal respecto al peso vacío del grupo inicial (GI):

A_{3.1}. Cálculo para rendimiento de vísceras más sangre:

$$RvisGI = \frac{\mu PvisGI}{\mu PvaGI}$$

Donde:

$RvisGI$: Rendimiento de la mezcla de vísceras más sangre de los lechones del grupo inicial.

$\mu PvisGI$: Promedio del peso de la mezcla de vísceras más sangre de los lechones del grupo inicial.

$\mu PvaGI$: Promedio del peso vacío de los lechones del grupo inicial, calculado en el paso A₁.

A_{3.2}. Cálculo del rendimiento de canal respecto al peso vacío del grupo inicial:

$$RcanGI = \frac{\mu PcanGI}{\mu PvaGI}$$

Donde:

$RcanGI$: Rendimiento de canal de los lechones del grupo inicial.

$\mu PcanGI$: Promedio del peso de las canales de los lechones del grupo inicial.

$\mu PvaGI$: Promedio del peso vacío de los lechones del grupo inicial, calculado en paso A₁.

B. Ganancia de peso vacío (GPva) del grupo experimental, del día del destete (día 0) al día 14 posdestete.

La estimación de la ganancia de peso vacío del grupo experimental (GE) (lechones sacrificados al día 14 posdestete) durante el experimento, parte del principio de que la relación entre el peso vivo vacío y el peso vivo era similar entre los animales del grupo inicial (GI) y los de GE (Le Bellego y Noblet, 2002).

B₁. El primer paso fue estimar el peso vacío al destete (al día cero) de los lechones del GE, utilizando la fórmula descrita en el paso A₂:

$$PvaGE0 = (PViGE0)(\mu PropPvaGI)$$

Donde:

PvaGE0: Peso vacío de los lechones del grupo experimental al día del destete (día 0).

PViGE0: Peso vivo del grupo experimental al día del destete (día 0).

$\mu PropPvaGI$: Promedio de la proporción del peso vacío de los lechones del grupo inicial, estimado en paso A₂.

B_{1.1}. Como segundo paso se calculó el peso vacío de los lechones del grupo experimental al día 14 posdestete, realizando lo siguiente:

$$PvaGE14 = PcanGE14 + PvisGE14$$

Donde:

PvaGE14: Peso vacío del grupo experimental al día 14 posdestete.

PcanGE14: Peso de canal del grupo experimental al día 14 posdestete.

PvisGE14: Peso de la mezcla de vísceras más sangre al día 14 posdestete.

B₂. Posteriormente se estimó la ganancia de peso vacío del grupo experimental, del día del destete (día 0) al día 14 posdestete, a partir de los datos obtenidos en los puntos B₁ y B_{1.1}.

$$GPvaGE_{d0 \rightarrow d14} = PvaGE_{d14} - PvaGE_{d0}$$

Donde:

$GPvaGE_{d0 \rightarrow d14}$: Ganancia de peso vacío del grupo experimental del día del destete (d0) al día 14 posdestete.

$PvaGE_{d14}$: Peso vacío del grupo experimental al día 14 posdestete, calculado en paso B_{1.1}.

$PvaGE_{d0}$: Peso vacío del grupo experimental al día del destete (día 0), obtenido en paso B₁.

C. Ganancia de peso en vísceras más sangre y en canal del grupo experimental del día 0 (día del destete) al día 14 posdestete.

Se estimó el peso de las vísceras más sangre y el peso de la canal del grupo experimental (lechones sacrificados al día 14 posdestete), al día del destete (día 0).

C₁. El primer paso fue calcular el rendimiento de vísceras más sangre y de canal a partir del peso vacío (Pva) de cada lechón del grupo inicial (GI) utilizando las fórmulas descritas en los pasos A_{3.1} y A_{3.2}.

C₂. El segundo paso fue estimar el rendimiento de vísceras más sangre y canal del grupo experimental al día de destete (día 0):

C_{2.1}. Para vísceras más sangre:

$$R_{visGE_{d0}} = \frac{\mu P_{visGI}}{PvaGE_{d0}}$$

Donde:

$RvísGE0$: Rendimiento de la mezcla de vísceras más sangre de los lechones del grupo experimental, al día del destete (día 0).

$\mu PvisGI$: Promedio del peso de vísceras más sangre del grupo inicial.

$PvaGE0$: Peso vacío al día cero (destete), de los lechones del grupo experimental estimado en el apartado B₁.

C_{2.2}. Para canal:

$$RcanGE0 = \frac{\mu PcanGI}{PvaGE0}$$

Donde:

$RcanGE0$: Rendimiento de la mezcla de vísceras más sangre de los lechones del grupo experimental, al día del destete (día 0).

$\mu PcanGI$: Promedio del peso de vísceras más sangre del grupo inicial.

$PvaGE0$: Peso vacío al día cero (destete), de los lechones del grupo experimental estimado en el apartado B₁.

C₃. El tercer paso fue estimar el peso de las vísceras más sangre y de la canal del grupo experimental al día del destete (día 0):

C_{3.1}. Para vísceras más sangre:

$$PvisGE0 = (PvaGE0)(RvisGI)$$

Donde:

$PvisGE0$: Peso estimado de las vísceras más sangre de los lechones del grupo experimental al día del destete.

$PvaGE0$: Peso vacío de los lechones del grupo experimental al día del destete, estimado en el paso B₁.

$RvisGI$: Rendimiento de vísceras más sangre del grupo inicial calculado a partir de la fórmula descrita en el paso A_{3.1}.

C_{3.2} Para canal:

$$P_{canGE0} = (P_{vaGE0})(R_{canGI})$$

Donde:

P_{canGE0}: Peso estimado de la canal de los lechones del grupo experimental al día del destete.

P_{vaGE0}: Peso vacío de los lechones del grupo experimental al día del destete, estimado en el paso B₁.

R_{canGI}: Rendimiento de canal del grupo inicial calculado a partir de la fórmula descrita en el paso A_{3.2}.

C₄. Finalmente se pudo estimar la ganancia de peso en vísceras más sangre y canal del grupo experimental (lechones sacrificados al día 14 posdestete), del día del destete (día 0) hasta el día 14 posdestete, con las siguientes fórmulas:

C_{4.1}. Para vísceras más sangre:

$$GP_{visGE0 \rightarrow d14} = P_{visGE14} - P_{visGE0}$$

Donde:

GP_{visGE0 → d14}: Ganancia de peso de vísceras más sangre del grupo experimental del día del destete (día 0) al día 14 posdestete.

P_{visGE14}: Peso de vísceras más sangre del grupo experimental al día 14 posdestete, posteriormente obtenido al sacrificio de los lechones.

P_{visGE0}: Peso de vísceras más sangre del grupo experimental al día del destete, estimado en el paso C_{3.1}.

C_{4.2}. Para canal:

$$GP_{canGE0 \rightarrow d14} = P_{canGE14} - P_{canGE0}$$

Donde:

$GPcanGE0\rightarrow d14$: Ganancia de peso de canal del grupo experimental del día del destete (día 0) al día 14 posdestete.

$PcanGE14$: Peso de canal del grupo experimental al día 14 posdestete, posteriormente obtenido al sacrificio de los lechones.

$PcanGE0$: Peso de canal del grupo experimental al día del destete, estimado en el paso C_{3.2}.

D. Composición química de la ganancia de peso de las vísceras más sangre y de la canal del día cero (destete) al día 14 posdestete.

D₁. Para estimar la composición química de la ganancia de peso del día del destete al día 14 posdestete, primero se calculó el peso de MS, agua, PC, EE, Cen y la En de las vísceras más sangre y de la canal de los lechones del GE al día 14 posdestete con base a los análisis realizados en el laboratorio:

D_{1.1}. Cálculo del peso de los componentes de vísceras más sangre:

$$PcvísGE14 = \frac{(PvísGE14)(\%cvísGE14)}{100}$$

Donde:

$PcvísGE14$: Peso del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de vísceras más sangre de los lechones del grupo experimental al día 14 posdestete.

$PvísGE14$: Peso de vísceras más sangre de los lechones del grupo experimental al día 14 posdestete.

$\%cvísGE14$: Porcentaje obtenido en los análisis de laboratorio del componente de vísceras más sangre de los lechones del grupo experimental al día 14 posdestete.

D_{1.2}. Cálculo del peso de los componentes de canal:

$$P_{ccanGE14} = \frac{(P_{canGE14})(\%ccanGE14)}{100}$$

Donde:

P_{ccanGE14}: Peso del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de canal de los lechones del grupo experimental al día 14 posdestete.

P_{canGE14}: Peso de canal de los lechones del grupo experimental al día 14 posdestete.

%ccanGE14: Porcentaje obtenido en los análisis de laboratorio del componente de canal de los lechones del grupo experimental al día 14 posdestete.

D₂. Posteriormente se estimó el peso de MS, agua, PC, EE, Cen y la En, de las vísceras más sangre y de las canales al día 0, de los lechones del grupo experimental (GE) (sacrificados al día 14 posdestete), tomando como base la composición química de los lechones del grupo inicial (GI) (Ver anexo 1) con las siguientes fórmulas:

D_{2.1}. Para los componentes de vísceras más sangre:

$$P_{estcvísGE0} = \frac{(P_{vísGE0})(\mu\%cvísGI)}{100}$$

Donde:

P_{estcvísGE0}: Peso estimado del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de vísceras más sangre del grupo experimental al día del destete (día 0).

P_{vísGE0}: Peso de vísceras más sangre del grupo experimental al día del destete, calculado en el paso C_{3.1}.

μ%cvísGI: Promedio del porcentaje del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de vísceras más sangre del grupo inicial (Anexo 1).

D_{2.2}. Para los componentes de canal:

$$PestccanGE0 = \frac{(PcanGE0)(\mu\%ccanGI)}{100}$$

Donde:

PestccanGE0: Peso estimado del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de canal del grupo experimental al día del destete (día 0).

PcanGE0: Peso de canal del grupo experimental al día del destete, calculado en el paso C_{3.2}.

μ%ccanGI: Promedio del porcentaje del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de canal del grupo inicial (Anexo 1).

D₃. Finalmente se pudo estimar la composición química de la ganancia de peso en vísceras más sangre y en las canales de los animales del grupo experimental (GE) del día del destete (día 0) al día 14 posdestete:

D_{3.1}. Para los componentes de vísceras más sangre:

$$GcvísGE0 \rightarrow d14 = PcvísGE14 - PestcvísGE0$$

Donde:

GcvísGE0 → d14: Ganancia del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de vísceras más sangre de los lechones del grupo experimental, del día del destete (día 0) al día 14 posdestete.

PcvísGE14: Peso del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de vísceras más sangre del grupo experimental al día 14 posdestete, calculado en paso D_{1.1}.

PestcvísGE0: Peso estimado del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de vísceras más sangre del grupo experimental al día del destete (día 0), descrito en el paso D_{2.1}.

D_{3.2}. Para los componentes de canal:

$$GccanGE_{d0 \rightarrow d14} = PccanGE_{d14} - PestccanGE_{d0}$$

Donde:

GccanGE_{d0→d14}: Ganancia del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de la canal de los lechones del grupo experimental, del día del destete (día 0) al día 14 posdestete.

PccanGE_{d14}: Peso del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de la canal del grupo experimental al día 14 posdestete, calculado en paso D_{1.2}.

PestccanGE_{d0}: Peso estimado del componente (MS, agua, PC, EE, Cen) de la canal del grupo experimental al día del destete (día 0), descrito en el paso D_{2.2}.

6.2.4 Análisis estadístico

Las variables se analizaron utilizando el paquete estadístico SAS (2002). Para el experimento 2, el análisis de la composición química corporal se hizo de acuerdo a un modelo de bloques al azar en donde el criterio de bloqueo fue el peso inicial y la unidad experimental fue el lechón.

Para todas las variables, las diferencias estadísticas se aceptaron con un valor de $P < 0.05$ y las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1980).

VII. RESULTADOS

7.1 Diarreas y comportamiento zootécnico de los lechones

7.1.1 Parámetros productivos

Los resultados de los parámetros productivos de los lechones alimentados con las tres dietas experimentales se presentan en el Cuadro 5.

Durante las dos semanas posdestete todos los lechones ganaron peso, siendo más notable la ganancia en los animales alimentados con la dieta APCa ($P < 0.01$). No se mostró diferencia significativa en las ganancias de peso entre los animales alimentados con las dietas BPC y BPCv.

El consumo diario de alimento no fue diferente entre los lechones alimentados con los tres tratamientos en la primera semana después del destete, aunque hubo una tendencia ($P = 0.09$) de que el CDA en los animales alimentados con las dietas BPC y BPCv fuera menor en relación a los de la APC.

Cuadro 5. Ganancia diaria de peso (GDP), Consumo diario de alimento (CDA) y Eficiencia alimenticia (EA) de los lechones en prueba de comportamiento.

Variables	Tratamientos ¹			Valor de <i>P</i>	EEM ²
	APCa	BPC	BPCv		
Ganancia diaria de peso, g					
Semana 1	101 ^a	42 ^b	42 ^b	0.05	8.370
Semana 2	252 ^a	146 ^b	160 ^b	0.05	14.344
Periodo total	177 ^a	94 ^b	100 ^b	0.01	10.430
Consumo diario de alimento, g					
Semana 1	154	123	135	0.09	5.252
Semana 2	285 ^a	200 ^b	201 ^b	0.01	9.194
Periodo total	219 ^a	161 ^b	165 ^b	0.01	6.889
Eficiencia alimenticia					
Semana 1	0.646	0.335	0.289	0.06	0.059
Semana 2	0.890	0.733	0.765	NS	0.053
Periodo total	0.768	0.534	0.527	NS	0.047

¹ APCa: dieta alta en proteína cruda con antibiótico; BPC: dieta baja en proteína cruda; BPCv: dieta baja en proteína cruda más valina.

² Error Estándar de la Media.

^{ab} Valores con letras distintas son estadísticamente diferentes.

NS: no significativo.

En la segunda semana posdestete todos los lechones incrementaron su consumo de alimento en relación a la primera y se observó que los lechones alimentados con la dieta APCa tuvieron un mayor consumo ($P<0.05$) que los lechones alimentados con las dietas BPC y BPCv (Cuadro 5).

En el periodo total se observaron diferencias ($P<0.05$) en el CDA, siendo mayor entre los animales alimentados con dieta APCa (219 g) respecto a los de las dietas BPC y BPCv (165 y 161 g, respectivamente).

En la primera semana posdestete los animales alimentados con las dietas BPC y BPCv respecto a los de la dieta APCa, tendieron ($P=0.06$) a tener una menor eficiencia alimenticia. Mientras tanto, durante la segunda semana posdestete y durante el periodo total, no hubieron diferencias significativas en la EA entre los tres tratamientos (Cuadro 5). Los animales fueron más eficientes durante la segunda semana posdestete en relación a la primera.

7.1.2 Incidencia y severidad de diarreas

En la incidencia de diarrea no se mostraron diferencias significativas entre los lechones alimentados con las tres distintas dietas. Sin embargo, pudo notarse que la incidencia fue mayor ($P<0.05$) durante la segunda semana posdestete, independientemente de la dieta que consumieron los animales (Figura 14).

Asimismo, no se observaron diferencias significativas ($P>0.05$) en la severidad de las diarreas entre los animales que consumieron las diferentes dietas; únicamente se mostró que durante la segunda semana la severidad de las diarreas fue mayor respecto a la primera semana posdestete (Figura 15).

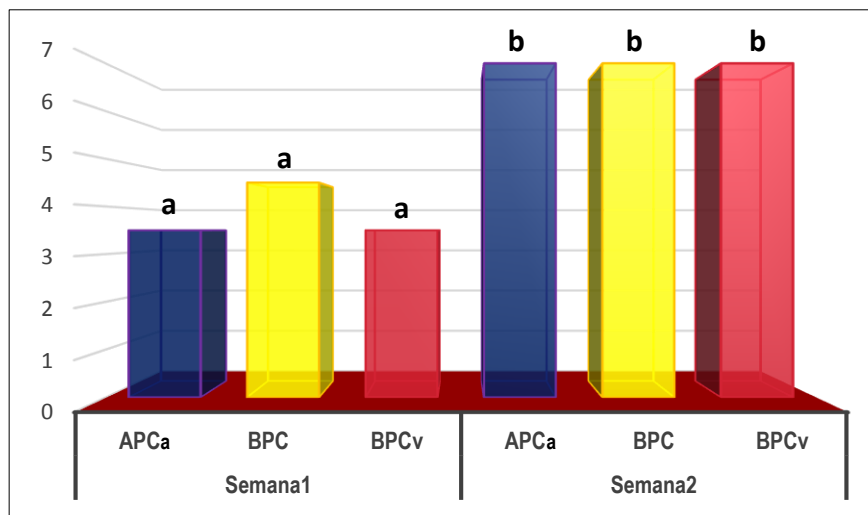


Figura 14. Incidencia de diarreas durante la primera y segunda semana posdestete.

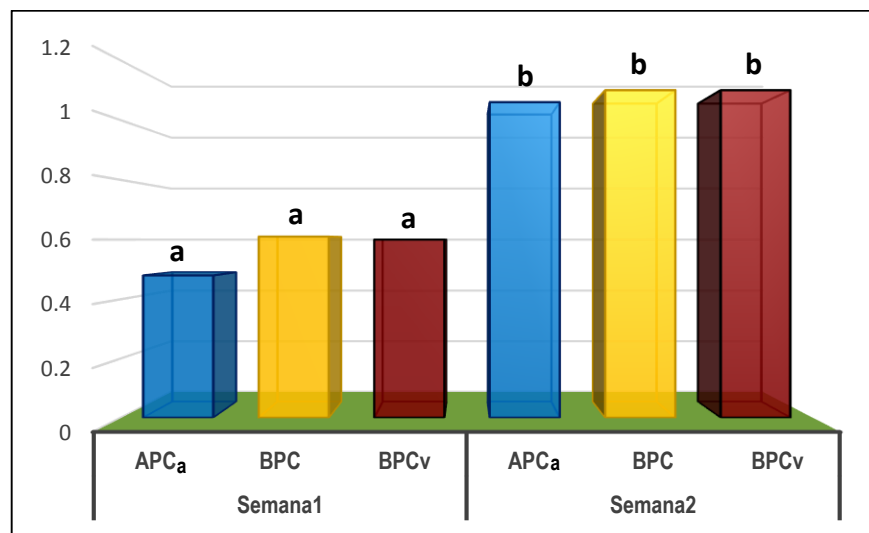


Figura 15. Severidad de diarreas durante la primera y segunda semana posdestete.

7.2 Composición química corporal y de la ganancia de peso durante las dos semanas posdestete.

7.2.1 Efectos sobre la composición química de canal y vísceras más sangre.

El rendimiento y a la composición química de las vísceras más sangre y de la canal, no difirieron ($P>0.05$) entre los animales alimentados con las dietas con los diferentes niveles de PC (APCa y BPC) ni con la dieta baja en proteína en la que se incluyó de valina (BPCv) (Cuadro 6). Sin embargo, hubo una tendencia ($P=0.06$) de

que la concentración de EE de la mezcla vísceras más sangre fuera mayor en el los animales alimentados con las dietas bajas en PC (BPC y BPCv, 1.65% en promedio) que los de APCa (1.3%).

Cuadro 6. Composición química corporal de los lechones al día 14 posdestete.

Variable	Dietas ¹			Valor P	EEM ²
	APCa	BPC	BPCv		
VÍSCERAS + SANGRE					
Rendimiento, %	17.9	16.7	16.4	NS	0.5
Agua, %	82.2	83.6	82.2	NS	0.3
MS, %	16.5	16.4	17.8	NS	0.3
PC, %	11.5	11.1	12.0	NS	0.1
EE, %	1.3	1.5	1.8	0.06	0.1
Ceniza, %	0.91	0.93	0.99	NS	0.01
Otros*, %	2.77	2.89	2.97	NS	0.1
Energía, cal/gMS	846	853	926	NS	14
CANAL					
Rendimiento, %	82.0	83.3	83.6	NS	0.5
Agua, %	70.1	70.5	67.9	NS	0.7
MS, %	29.9	29.5	30.1	NS	0.7
PC, %	20.9	20.0	20.4	NS	0.4
EE, %	3.4	3.2	3.4	NS	0.3
Ceniza, %	2.9	2.8	2.9	NS	0.08
Otros ³ , %	2.8	3.5	3.4	NS	0.1
Energía, cal/gMS	1810	1781	1818	NS	60

¹ APCa: dieta alta en proteína cruda con antibiótico; BPC: dieta baja en proteína cruda; BPCv: dieta baja en proteína cruda más valina.

² Error Estándar de la Media.

³Otros: incluye carbohidratos y demás compuestos orgánicos que se calcularon por la diferencia entre la suma de los porcentajes de EE, PC y Ceniza y el porcentaje de MS.

MS: Materia seca, PC: Proteína cruda, EE: Extracto etéreo. NS: No significativa.

7.2.2 Efectos sobre la composición de la ganancia de peso en los lechones a las dos semanas posdestete.

En el Cuadro 7 se observa que no hubo un efecto ($P>0.05$) del nivel de PC de la dieta ni de la inclusión de valina en una dieta baja en proteína (BPCv) sobre la ganancia de peso vacío en agua, MS, PC, EE, cenizas, energía y otros

Cuadro 7. Composición de la ganancia de peso vacío de los lechones durante las dos primeras semanas posdestete.

Variable	Dietas ¹			Valor P	EEM ²
	APCa	BPC	BPCv		
GPva, g	1240	879	615	NS	130
Vísceras + Sangre					
GP, g	519	348	303	NS	125
Agua, g	426	283	228	NS	35
MS, g	94	62	74	NS	8
PC, g	65	39	47	NS	5
EE, g	4	4	8	0.09	1.4
Cenizas, g	6	4	5	NS	0.8
Otros, g	18	14	14	NS	1.9
Energía, cal/g	458	316	379	NS	38
Canal					
GP, g	721	532	312	NS	42
Agua, g	759	656	487	NS	82
MS, g	-38	-125	-175	NS	68
PC, g	572	480	486	NS	33
EE, g	-598	-623	-665	NS	31
Ceniza, g	-2	-13	-16	NS	7
Otros*, g	-9	30	19	NS	9
Energía, cal/g	-898	-1470	-1780	NS	505

¹ APCa: dieta alta en proteína cruda con antibiótico; BPC: dieta baja en proteína cruda; BPCv: dieta baja en proteína cruda más valina.

² Error Estándar de la Media.

*Otros: incluye carbohidratos y demás compuestos orgánicos que se calcularon por la diferencia entre la suma de los porcentajes de EE, PC y Ceniza y el porcentaje de MS.

MS: Materia seca, PC: Proteína cruda, EE: Extracto etéreo. NS: No significativa. GPva: Ganancia de peso vacío; GP: Ganancia de peso.

componentes tanto en la mezcla de vísceras más sangre como en la canal. Sin embargo, la ganancia de EE en la mezcla de vísceras más sangre tuvo una tendencia ($P=0.09$) a ser mayor en los lechones alimentados con BPCv, que los alimentados con las otras dietas. En la composición de la ganancia de peso en la canal de todos los animales hubo pérdida de MS debido a la pérdida de EE. Esto se vio confirmado en la pérdida de energía. También se observó pérdida de cenizas en las canales.

VIII. DISCUSIÓN

El presente estudio fue guiado por la hipótesis de que al suplementar valina a una dieta baja en proteína permitiría obtener parámetros productivos similares a los resultantes de una dieta alta en proteína con antibiótico, además de que se esperaba obtener un efecto similar sobre la incidencia y severidad de las diarreas en lechones recién destetados, al consumir una dieta alta en proteína con antibiótico y una con bajo nivel de proteína corregida con aminoácidos esenciales y sin antibiótico, durante las dos semanas posdetete.

La importancia de esto reside en que algunas dietas comerciales para lechones recién destetados son formuladas con 22 a 24% de PC para soportar el potencial del rápido crecimiento de modernos genotipos (NRC, 2012). Esto tiene relevancia dado a que en este periodo el lechón tiene un rápido crecimiento, el cual está relacionado al rendimiento que tendrán en su vida. Sin embargo, la salud del tracto gastrointestinal del lechón puede ser afectada si la cantidad de proteína es alta, sobre todo cuando a la dieta no se le adicionan antibióticos, al aumentar su disponibilidad para ser fermentada por bacterias patógenas (Heo *et al.*, 2008). Consecuentemente, como producto de las desaminaciones y descarboxilaciones de las proteínas, se generan sustancias dañinas (aminas, amoniaco, etc.) que pueden alterar la función y estructura de la mucosa del TGI, provocando así una mayor probabilidad de que los animales presenten diarreas durante esta etapa. Escobar *et al.* (2014) demostraron el efecto del nivel de proteína sobre la producción de amoniaco, pues los lechones alimentados con las dietas altas en proteína cruda sin

antibiótico tuvieron una mayor concentración de este metabolito en íleon y colon en comparación con las dietas alta en proteína cruda con antibiótico y dieta baja en PC más con probiótico.

La reducción del nivel de PC dietética (por ejemplo, de 24% a 18% de PC), puede ser posible gracias a la adición de aminoácidos esenciales, (Lys, Met, Tre, Trp, Ile, Val), según describen Nyachoti *et al.* (2006), Figueroa *et al.* (2003) y De Lange *et al.* (2010), pues de lo contrario el desarrollo de los animales podría verse afectado (Cuadro 2). Estos aminoácidos han sido producidos y vendidos para su uso en la industria de alimentos. Su uso se justifica, primero, al considerarse que la dieta sea deficiente en algún AA y segundo, al tomar en cuenta que éste no sea limitante de otro AA.

En algunos trabajos (Figueroa *et al.*, 2003; Theil *et al.*, 2004) han reportado que después de la lisina, metionina, treonina y triptófano, la valina es el siguiente aminoácido limitante, lo cual no se demostró en los resultados obtenidos en este trabajo al no haber respuesta productiva, luego de comparar la dieta BPC corregida con AAC, con la dieta BPC corregida con AAC más la adición de Val. Este resultado no coincide con lo reportado por Lordelo *et al.* (2008), quienes demostraron que la adición de Val en una dieta BPC, llevaba a una respuesta de rendimiento del crecimiento muy similar a la que se obtiene al alimentar a los lechones con una dieta APC, mientras que en el presente trabajo las diferencias fueron significativas solo para los lechones alimentados con la dieta APCa, cuya GPD, CDA y EA fueron favorecedoras, contrastando con las dietas BPC y BPCv. Posibles causas de esta controversia son el nivel de proteína utilizados en los diferentes experimentos y la adición de antibiótico en la dieta APC en el presente trabajo. Como anteriormente se mencionó, el antibiótico es utilizado como un aditivo promotor de crecimiento en los lechones (Nyachoti *et al.*, 2006; Heo *et al.*, 2008; Opapeju *et al.*, 2008)

Los presentes resultados sobre el comportamiento productivo al igual que Zheng *et al.*, (2001) en donde no se encontraron diferencias en el rendimiento de

los lechones alimentados con dietas BPC corregidas con Ile y Val, hace suponer que se puede disminuir el nivel de PC sin comprometer el desarrollo de los lechones.

Lallés *et al.* (2004) y Opapeju *et al.* (2008) mencionan que en el destete, el cual es un periodo crítico, el CDA y la GDP serán bajos y aumentarán una vez que comience a adaptarse el TGI de los lechones para poder digerir el nuevo alimento, lo cual se vio reflejado en estos parámetros obtenidos al ser bajos durante la primera semana del periodo experimental, respecto a la segunda posdestete, sin diferencias entre tratamientos (APCa, BPC o BPCv).

Nyachoti *et al.* (2006) describen que a medida que se disminuyó el nivel de PC en una dieta, también disminuyó la GDP, lo cual concuerda con los resultados de este estudio, pues mientras que para los lechones alimentados con dietas APC, la GDP fue de 101 gramos por día, para los lechones alimentados con dietas BPC y BPCv la GDP fue de 42 g en la primera semana posdestete. Cabe mencionar que Shimada (2009) menciona que para esperar un buen crecimiento compensatorio posterior, es necesario cumplir con el objetivo de lograr una GDP de más de 100 g en los lechones en la primera semana posdestete, lo cual fue logrado sólo en los animales que consumieron la dieta APCa, por lo que podría considerarse que de haber llegado a finalización probablemente estos animales habrían tenido un mejor desempeño zootécnico en comparación a los animales alimentados con las dietas BPC.

Respecto a las diarreas, se sabe que el destete es el periodo más crítico del cerdo, pues aumenta la susceptibilidad a sufrir desórdenes digestivos (Lallès *et al.*, 2004). Duran (1990) describe que es en este periodo cuando el lechón se enfrenta a una situación evidente de estrés, conduciendo al desarrollo de enteritis y diarreas. Además, en los estudios de Theil *et al.* (2003), Bikker *et al.* (2006), Barea *et al.* (2009), se ha descrito que dada a la proliferación de bacterias patógenas en el TGI al estimular la fermentación de la proteína no digerida, la incidencia y la severidad de las diarreas posdestete son mayores en lechones alimentados con dietas APC.

En 2014, Escobar *et al.* realizó un estudio en el que se comprobó que en lechones alimentados con un nivel de proteína alto con ausencia de antibiótico, modificaba el perfil de fermentación microbiana, al haberse promovido la producción de ácidos grasos de cadena corta así como de amoníaco en íleon y colon, ambos metabolitos dañinos para el hospedero pues son capaces de alterar el balance ácido básico, factor que influye en la absorción de agua en el intestino grueso considerándose posible causa de la presencia de diarreas posdestete. En este estudio se observó una mayor severidad e incidencia de diarreas en animales que habían sido alimentados con dietas APC sin antibiótico, justificando que el nivel proteico es un factor que modifica el microambiente intestinal.

Como ya se mencionó anteriormente, se han investigado alternativas que pueden evitar un mal funcionamiento intestinal, como las diarreas, manteniendo el objetivo de utilizar dietas libres de antibiótico; entre ellas, formular las dietas con bajo nivel de PC, ayudando a disminuir los niveles de metabolitos producidos por la proteína consumida (Bikker *et al.*, 2006; Nyachoti *et al.*, 2006).

En el presente trabajo, el haber disminuido el nivel de PC (de 24% a 18%) no tuvo efecto significativo en la severidad e incidencia de diarreas en los lechones. La nula respuesta a cambios en el nivel de PC y a la adición de Val pudo deberse a que las diarreas posdestete en los lechones son causadas por varios factores como el entorno, la exposición a bacterias, el manejo de los animales y además por la formulación general de las dietas, tal y como describen varios autores (Bikker *et al.*, 2006; Le Dividich y Séve, 2000). Según Reis *et al.* (2010), el período más crítico para la utilización digestiva de los nutrimentos está representado por las dos semanas posdestete, y es cuando los lechones son más susceptibles a estas diferentes causas que afectan negativamente la digestibilidad en el tracto gastrointestinal, coincidiendo con los resultados obtenidos, presentados en la Figura 2. Conforme a la escala de calificación empleada en el proyecto, se observó un aumento en la severidad de las diarreas en la segunda semana posdestete independientemente de la dieta consumida y fueron consideradas como ligeras,

calificación de las diarreas que no compromete el bienestar de los lechones (Figura 3).

En relación a la composición química corporal de los lechones, los valores encontrados en el presente trabajo indican que independientemente del nivel de PC contenida en la dieta, el cuerpo de los lechones recién destetados está compuesto en su mayoría por agua, estando ésta en mayor proporción en vísceras más sangre y en menor porcentaje en la canal, lo cual corrobora los datos reportados por Le Bellego y Noblet (2002). En el trabajo de Almaguer (2011) se comparó también el rendimiento y composición química de las vísceras más sangre y de canal de animales que fueron alimentados con una dieta BPC (18%) y con una dieta APC (22%), obteniendo datos similares a los del presente estudio, para ambos casos (Figura 16).

La materia seca de las vísceras más sangre y de la canal está compuesta por una mayor proporción de proteína que de grasa (EE) y demás componentes. En el presente experimento esta composición química no fue afectada por el nivel de proteína cruda de la dieta balanceada ni por la presencia o ausencia de valina cristalina.

El nivel de proteína de la dieta o el complemento con valina cristalina fueron factores que no afectaron la ganancia de peso vacío en los componentes de vísceras más sangre de los lechones, desde el día del destete hasta el día 14 posdestete.

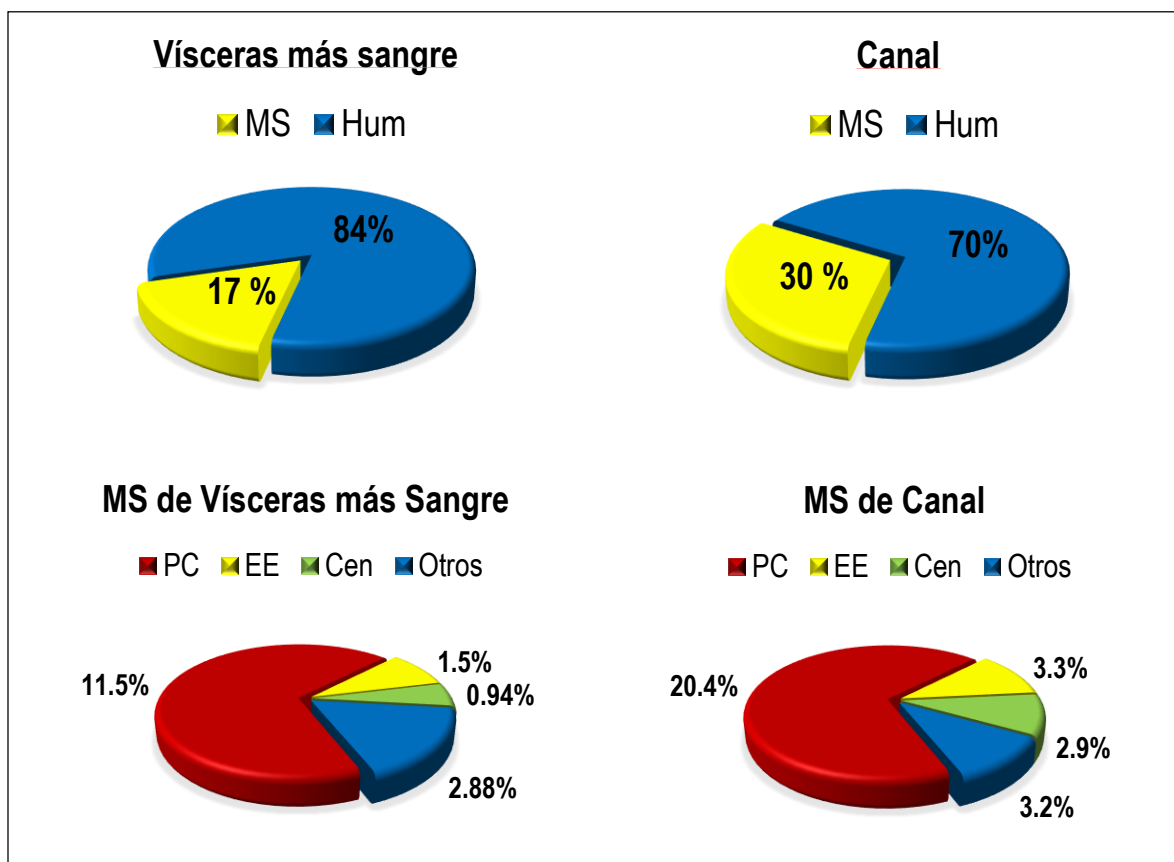


Figura 16. Composición química de vísceras más sangre y canal de lechones a las dos semanas posdestete (14 días de vida).

Una de las posibles causas a la que se atribuye que no haya habido efecto de la adición de valina sobre las variables analizadas, es que los niveles de PC de los ingredientes pudieron estar sobrestimados en la base de datos, ocasionando por lo tanto que se formularan las dietas realmente con un nivel de PC por debajo del nivel requerido.

Por otro lado, una vez analizadas las dietas empleadas, se encontró que el nivel de proteína fue marginal en la dieta APC, lo que explicaría por lo tanto que la cantidad de lisina que contenía pudo limitar el crecimiento de los lechones, aun cuando se cuidó la relación con los otros aminoácidos. Mientras tanto, las dietas BPC tuvieron un nivel de proteína todavía más bajo que lo requerido, aun respetando la proteína ideal, castigando con esto la GDP en los lechones.

Es imprescindible que los aminoácidos esenciales sean proporcionados a los lechones en las cantidades requeridas y la falta de cualquier aminoácido puede provocar que otros no puedan ser utilizados, causando que las proteínas no sean sintetizadas óptimamente.

Otra de las posibles razones es que las dietas BPC no hayan sido debidamente mezcladas, dado a que fueron muy pequeñas las cantidades de los aminoácidos utilizados para corregir el bajo nivel de proteína; no siendo distribuidos de manera homogénea en el alimento, influyendo por lo tanto en la cantidad ingerida por los lechones. Por estos factores es que se presume que la valina no provocó el efecto esperado durante el periodo experimental.

Por otro lado, se observó la deposición de proteína en vísceras más sangre, así como en la canal de los lechones sin diferencias entre tratamientos, lo que indica que independientemente del nivel de PC que contengan las dietas que consuman los lechones, se garantizará la deposición de este componente en el organismo del lechón. Esto no coincidió con lo reportado en el trabajo de Almaguer (2011) quien observó una pérdida de proteína en la composición de la ganancia de peso de canal en los animales alimentados con dieta APC (22%) y BPC (17%).

En el presente trabajo, las canales de los lechones que consumieron las tres dietas experimentales (APCa, BPCv, BPC), tuvieron pérdida de materia seca debida a la disminución de EE, cenizas y componentes tales como carbohidratos y otros compuestos orgánicos, lo cual explica la pérdida de energía total depositada en la canal, tanto para los animales alimentados con dietas APC, como para los alimentados con dietas BPC. Esto coincide con los resultados de la composición de la ganancia de peso de lechones alimentados con dieta APC de Almaguer (2011), pues reportó que en ellos hubo una pérdida de EE y cenizas. Esto podría estar justificado por el bajo CDA que los lechones tuvieron durante la primera semana posdestete, pues al no poder cumplir con sus requerimientos energéticos, cuya demanda es muy alta ocasionada por el estrés del destete tal como describen Le

Dividich y Sève (2000), el lechón se ve forzado a utilizar sus reservas energéticas, lo que sugiere que el tejido graso es utilizado para ello por medio de catabolismo.

Las necesidades proteicas de los lechones para el desarrollo de las vísceras fueron cumplidas de forma prioritaria tal y como lo demostraron Lallès *et al.* (2004), las cuales se comprobaron mediante la ganancia de peso en todos los nutrimentos analizados en las vísceras, pues no mostraron diferencia entre tratamientos, datos también comparables con el estudio de Almaguer (2011).

El desarrollo de las vísceras de los animales se preservaron tal y como lo describen Lallès *et al.* (2004), pues las necesidades proteicas para el desarrollo de sus vísceras deben ser cumplidas de forma prioritaria. Esto fue demostrado al haber una ganancia de peso en todos los nutrimentos analizados de las vísceras, independientemente de que se haya disminuido el nivel de PC en las dietas.

IX. CONCLUSIÓN

Dado a que la incidencia y severidad de diarreas fue similar entre el tratamiento APC con antibiótico, respecto a las analizadas (BPC y BPCv), podría considerarse la disminución del nivel de proteína como una alternativa al uso de antibiótico en la dieta. Las diarreas fueron categorizadas como ligeras, y su incidencia y severidad fue mayor durante la segunda semana posdestete, sin comprometer la salud de los lechones.

La GDP, el CDA y la EA fueron bajos durante la primera semana posdestete aumentando en la segunda semana, periodo en el que el TGI del lechón comienza a adaptarse, independientemente del nivel de proteína que tuvo la dieta consumida. Entre los tratamientos, estos parámetros fueron favorables para los lechones alimentados con dietas APC con antibiótico.

La inclusión de valina a una dieta baja en proteína y el nivel de PC, no influyeron sobre el comportamiento zootécnico, la composición química corporal de los lechones recién destetados, ni en la composición de la ganancia de peso vacío de canal, ni de vísceras más sangre, durante las dos semanas posdestete. No cuidar el nivel de aminoácidos esenciales en las dietas aumentó el riesgo de tener otros aminoácidos como limitantes, influyendo en el comportamiento zootécnico de los animales e impidiendo observar el efecto esperado sobre los parámetros productivos de los lechones alimentados con una dieta baja en proteína adicionada con valina. Sin embargo, las necesidades proteicas para el desarrollo de las vísceras, fueron cumplidas por el organismo del lechón de manera prioritaria, independientemente del nivel de PC en la dieta consumida.

Ocasionado por la baja ingesta de alimento, el consumo de energía por los lechones fue deficiente durante las dos primeras semanas posdestete, por lo que utilizaron la grasa de la canal para cumplir con sus requerimientos energéticos.

X. IMPLICACIONES

Deberá considerarse realizar el previo análisis de los ingredientes para las dietas para conocer su contenido de aminoácidos antes y después de realizar su formulación con la finalidad de tener mayor precisión sobre su composición, sobre todo cuando haya la necesidad de complementar con pequeñas cantidades de nutrientes, como los aminoácidos.

Se sugiere que se formulen dietas con un bajo nivel de proteína cruda, y que se adicione la valina una vez asegurados los niveles de aminoácidos limitantes principales, para tener más confianza en obtener una respuesta esperada, y como las cantidades que se agregan son mínimas, habrá de ser más exacto el pesaje de los ingredientes.

Es durante las dos primeras semanas posdestete que los lechones continúan adaptando su tracto gastrointestinal y es por ello y a los resultados encontrados en el presente trabajo que se sugiere llevar a cabo otro experimento, cuya duración sea de tres semanas posdestete para obtener resultados más certeros sobre el efecto de las dietas que sean asignadas a los lechones.

Por otro lado, sería recomendable diseñar un experimento en donde los cerdos sean llevados desde el destete hasta la etapa de finalización (con peso de 90-100 kg.), considerando adicionar la valina a las dietas BPC, únicamente durante las primeras tres o cuatro semanas posdestete, para luego ofrecer a los animales dietas altas en proteína y así conocer si existe algún efecto remanente sobre el desempeño zootécnico de los animales.

XI. REFERENCIAS

- Almaguer N.B.L. 2011. Tesis: Efecto del nivel y de la fuente de proteína de la dieta para lechones destetados sobre la composición corporal y algunos indicadores del metabolismo energético. Querétaro, México.
- Álvarez D.A., Pérez E.H., Martín H.T., Quincosa T.J., Sánchez P.A. 2001. Fisiología animal aplicada. 1ª edición. Ed. Universidad de Antioquía. Medellín, Colombia.
- AOAC. 2002. Official Methods of Analysis. 17th ed. Vol. 2. Assoc. Offic. Anal. Chem. Arlington, VA.
- Ball RO, Aherne FX. 1987. Influence of dietary nutrient density, level of feed intake and weaning age on young pigs. II. Apparent nutrient digestibility and incidence and severity of diarrhea. Can. J. Anim. Sci. 67:1105-1115.
- Barea R., Brossard L., Le Floc'h N., Primot Y., Melchior D., Van Milgen J. 2009. The standardized ileal digestible valine-to-lysine requirement ratio is at least seventy percent in postweaned piglets. J Anim Sci. 87:935-947.
- Bikker A.P., Dirkzwager J.A., Fledderus J., Trevisi P., le Huërou-Luron I, Lallès J.P., Awati A. 2006. The effect of dietary protein and fermentable carbohydrates levels on growth performance and intestinal characteristics in newly weaned piglets. J Anim Sci, 84:3337-3345.
- Cámara L., Serrano M.P., Berrocoso J.D., Morales J.I., López J.P., López A., Ortín F., Alcázar E., Sánchez J.L., Coma J., Carrasco C., Peinado J., Mateos G.G. 2012. Necesidades de energía neta y lisina en cerdos en crecimiento. Estudio cooperativo en granjas comerciales españolas. Departamento de producción animal. Madrid, España. FEDNA. Danilo M.J. 2005. Producción porcina. Ed. EUNED. San José, Costa Rica. Pp. 89-92.
- Caravaca R.F.P., Castel G.J.M., Guzmán G.J.L., Delgado P.M., Mena G.Y., Alcalde A.M., González R.P. 2005. Bases de la producción animal. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. España. Pp. 324-331.
- Champe P.C., Harvey R.A., Ferrier D.R. 2007. Bioquímica. 3ª edición. Ed. Mc Graw Hill. México D.F. Pp. 1-16.

- Cmap. 2015. Sistema digestivo del cerdo. Consultado en: <http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1H0VKC04X-1MPS2B0-SM7/TRACTO%20DIGESTIVO%20CERDO.cmap>. Fecha de consulta: Junio de 2015.
- Danilo M.J. 2005. 1ª reimpresión. Ed. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica. Pp. 153-156.
- De Lange C.F.M., Pluske J., Gong J., Nyachoti C.M. 2010. Strategic use of feed ingredients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs. *Livestock Sci.* 134:124-134.
- Dirkzwager A., Veldman B., Bikker P. 2005. A nutritional approach for the prevention of post weaning syndrome in piglets. *Anim Res*; 54:231-236.
- Durán G.R.R., 1990. Aspectos fisiológicos del destete en el lechón. Ed. Dossier. Madrid, España. Pp. 27-36.
- Escobar G.K., Reis S.T.C., Mariscal L.G. Aguilera B.A., Bernal S.M.G., Gómez S.J.G. 2014. Microbial fermentation patterns, diarrhea incidence, and performance in weaned piglets fed a low protein diet supplemented with probiotics. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 1776-1786.
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2012. Manual Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar. Buenos Aires, Argentina.
- Figueroa J.L., Lewis A.J., Miller P.S., Fischer R.L., Diedrichsen R.M. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J Anim Sci.* 81:1529-1537.
- Heo J.M., Kim J.C., Hansen C.F., Mullan B.P., Hampson D.J., Pluske J.R. 2008. Effects of feeding low protein diets to piglets on plasma urea nitrogen, faecal ammonia nitrogen, the incidence of diarrhoea and performance after weaning. *J. Archives of Animal Nutrition.* Vol. 62:343–358.
- Htoo J.K., Araiza B.A., Sauer W.C., Rademacher M., Zhang Y., Cervantes M., Zijlstra R.T. 2007. Effect of dietary protein content on ileal amino acid

digestibility, growth performance, and formation of microbial metabolites in ileal and cecal digesta of early-weaned pigs. *J Anim Sci.* 85:3303-3312.

- Lallès J.P., Boudry G., Favier C., Le Floch N., Lurón I., Montagne L., Isabelle P., Oswald I.P., Pié S., Piel C., Séve B. 2004. Gut function and dysfunction in young pigs: physiology. *Anim. Res.* 53: 301–316.
- Le Bellego L. y Noblet J. 2002. Performance and utilization of dietary energy and aminoacids in piglets fed low protein diets. *Livestock Prod. Sci.* 76:45-58.
- Le Dividich J., Sève B. 2000. Effects of underfeeding during the weaning period on growth, metabolism, and hormonal adjustments in the piglet. *Domestic Animal Endocrinology.* 19: 63–74.
- Lehninger, A. 2009. *Principios de Bioquímica.* 5ª Ed. Editorial Omega. Pp. 111-115.
- Lindeman M.D., Cornelius S.G., El Kandelgy S.M., Moser R.L. 1986. Effect of age, weaning and diet on digestive enzyme levels in the piglet. *J Anim Sci;* 62:1298-1307.
- Lordelo M.M., Gaspar A.M., Le Bellego L., Freire J.P.B. 2008. Isoleucine and valine supplementation of a low-protein corn-wheat-soybean meal-based diet for piglets: Growth performance and nitrogen balance. *J Anim Sci.* 86:2936-2941.
- Mavromichalis I., Kerr B.J., Parr T.M., Albin D.M., Gabert V.M., Baker D.H. 2001. Valine requirement of nursery pigs. *J Anim Sci.* 79:1223-1229.
- Miller E.R., Ullrey D.E., Lewis A.J. 1991. *Swine Nutrition.* Ed. Butterworth-Heinemann. USA. Pp. 147-161, 497-498.
- Mora I.B. 2007. *Nutrición animal.* Primera edición. Ed. Universidad Estatal a Distancia. San José de Costa Rica. Pp. 65-69.
- Navarrete P.J.R. 2012. *Carne de porcino, 2012.* Panorama agroalimentario. Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura. Pp. 11-21.
- Nogueira E.T. 2005. *Aminoácidos: esenciales para los cerdos.* Suinocultura Industrial, Edición 191, Pp. 26-28.
- NRC. National Research Council. 2012. *Nutrient requirements of Swine.* Editorial National Academy Press. Washington, DC.

- Nyachoti C.M., Omogbenigun F.O., Rademacher M., Blank G. 2006. Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early-weaned pigs fed low-protein amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 84:125–134.
- Opapeju F.O., Rademacher M., Blank G., Nyachoti C.M. 2008. Effect of low-protein amino acid-supplemented diets on the growth performance, gut morphology, organ weights and digesta characteristics of weaned pigs. *Animal*, 2:10: 1457–1464.
- OIE. Oficina Internacional de Epizootias, actualmente Organización mundial de sanidad animal. 2014. Código sanitario para los animales terrestres. Capítulos 7.5, 7.6 y 7.8. Consultado en <http://www.oie.int/es/normas-internacionales/codigo-terrestre/acceso-en-linea/>
- Quiniou N., Noblet J. 1995. Prediction of tissular body composition from protein and lipid deposition in growing pigs. *J Anim Sci*; 73:1567-1575.
- Reis de S.T.C., Mariscal L.G. Escobar G.K., Aguilera B.A., Magné B.A. 2012. Cambios nutrimentales en el lechón y desarrollo morfofisiológico de su aparato digestivo. *Vet. Méx.* 43. Pp. 155-173.
- Reis de S.T.C., Mariscal L.G., Escobar G.K. 2010. Algunos factores fisiológicos y nutricionales que afectan la incidencia de diarreas posdestete en lechones. *Vet. Méx Vol.* 41 No. 4. México.
- Sangild P.T., Sjostrom H., Norén O., Fowden A.L., Silver M. 1995. The prenatal development and glucocorticoid control of brush-border hydrolases in the pig small intestine. *Pediatric Research* 37:207-212.
- SAS. 2002. SAS/STAT User's guide, version 8.2. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Steel R.G.D. and Torrie J.H. 1980. Principles and procedures of statistics. A Biometrical approach. 2nd Edition. McGraw-Hill, Kogakusha, Ltd.
- Shimada M.A. Nutrición animal. 2009. Segunda edición. Ed. Trillas. México, D.F. Pp. 122-123; 233-240.
- Theil P.K., Fernandez J.A., Danielsen V. 2004. Valine requirement for maximal growth rate in weaned pigs. *Livestock Production Science* 88: 99–106.

- UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México. Biomoléculas. 2015. Consultado en <http://objetos.unam.mx/biologia/moleculasOrganicas/index.html> Fecha de consulta: Junio de 2015.
- Wiltafsky M.K., Schmidtlein B., Roth F.X. 2009. Estimates of the optimum dietary ratio of standardized ileal digestible valine to lysine for eight to twenty-five kilograms of body weight pigs. J Anim Sci. 87:2544-2553.
- Wu G. 2010. Functional amino acids in growth, reproduction, and health. American Society for Nutrition 1:31-37.
- Zheng C.T., Li D.F., Qiao S.Y., Gong L.M., Zhang D.F., Thacker P., Han I.K. 2001. Effects of isoleucine supplementation of a low protein, corn-soybean meal diet on the performance and immune function of weanling pigs. Asian-Aust J Anim. Sci. 14:70-76.

XI. ANEXOS

Anexo 1

Composición química de los lechones del grupo inicial (GI)

Variable	Vísceras + sangre	Canal
Agua, %	83.15	64.49
MS, %	16.85	35.51
PC, %	11.74	14.00
EE, %	1.67	14.29
Cen, %	0.89	3.47
Otros*, %	2.55	3.75
Energía, cal/g	5253.30	6367.76
Rendimiento, %	13.75	86.25

*Otros: incluye carbohidratos y demás compuestos orgánicos que se calcularon por la diferencia entre la suma de los porcentajes de EE, PC, Cen y el porcentaje de MS.

MS: Materia Seca, PC: Proteína cruda, EE: Extracto etéreo.