



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y
SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y
CALIDAD DE LA CANAL EN CERDOS DE ENGORDA EN
RESPUESTA A ENERGÍA, PROTEÍNA Y LISINA

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

DANIBAAN MARTÍNEZ SANTIAGO

Bajo la supervisión de: MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA, Ph.D.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México, julio de 2019

ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y
CALIDAD DE LA CANAL EN CERDOS DE ENGORDA EN
RESPUESTA A ENERGÍA, PROTEÍNA Y LISINA

Tesis realizada por **DANIBAAN MARTÍNEZ SANTIAGO** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph.D. MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR:



Ph.D. AGUSTÍN RUÍZ FLORES

ASESOR:



M.C. CONSTANTINO ROMERO MÁRQUEZ

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE APÉNDICES	x
DEDICATORIAS	xi
AGRADECIMIENTOS	xii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	xiii
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Importancia de la energía en la nutrición porcina	4
2.2 Importancia de la proteína y los AA en la nutrición porcina	6
2.2.1 Proteína ideal.....	8
2.2.2 Lisina.....	9
2.3 Impacto de la nutrición en la canal porcina.....	11
2.4 Literatura citada.....	15
3 ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CANAL EN CERDOS DE ENGORDA EN RESPUESTA A ENERGÍA, PROTEÍNA Y LISINA.....	21
3.1 Resumen	21
3.2 Abstract	22
3.3 Introducción	23
3.4 Materiales y métodos.....	24
3.4.1 Selección de artículos	24
3.4.2 Análisis estadístico.....	26
3.5 Resultados y discusión	28
3.5.1 Relación entre EN, PC, LYS y comportamiento productivo	28
3.5.2 Relación entre EN, PC, LYS y la calidad de la canal	37

3.5.3	Estimación de variables de comportamiento productivo como respuesta a niveles dietéticos de LYS	41
3.5.4	Análisis de regresión para las variables de calidad de la canal como respuesta a niveles dietéticos de LYS.....	51
3.6	Conclusiones	58
3.7	Literatura citada.....	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de los aminoácidos de acuerdo con su importancia.....	7
Cuadro 2. Perfil de aminoácidos para formular con base en proteína ideal para cerdos en crecimiento.....	9
Cuadro 3. Artículos científicos utilizados para determinar la relación de lisina con el comportamiento productivo en cerdos de engorda.	25
Cuadro 4. Artículos científicos utilizados para determinar la relación de energía neta con el comportamiento productivo en cerdos de engorda.....	26
Cuadro 5. Estimación del valor de energía neta, proteína cruda y lisina para minimizar ($p<0.05$) el consumo diario de alimento para cerdos en crecimiento.	28
Cuadro 6. Niveles de energía neta, proteína cruda y lisina recomendados por referencias internacionales para cerdos en crecimiento.	29
Cuadro 7. Estimación del valor de energía neta, proteína cruda y lisina para maximizar ($p<0.05$) la ganancia diaria de peso para cerdos en crecimiento. ...	29
Cuadro 8. Estimación del valor de energía neta, proteína cruda y lisina para minimizar ($p<0.05$) la conversión alimenticia de cerdos en crecimiento.	30
Cuadro 9. Estimación del valor de proteína cruda y lisina para maximizar ($p<0.05$) el consumo diario de alimento para cerdos en desarrollo.....	31
Cuadro 10. Niveles de energía neta, proteína cruda y lisina recomendados por referencias internacionales para cerdos en desarrollo.....	31
Cuadro 11. Estimación del valor de proteína y lisina para maximizar ($p<0.05$) la ganancia diaria de peso para cerdos en desarrollo.	32
Cuadro 12. Estimación del valor de proteína y lisina para maximizar ($p<0.05$) la conversión alimenticia para cerdos en desarrollo.	33
Cuadro 13. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para maximizar ($p<0.05$) el consumo diario de alimento para cerdos en finalización.....	34
Cuadro 14. Niveles de energía, proteína y lisina recomendados por referencias internacionales para cerdos en finalización.	34

Cuadro 15. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para maximizar ($p < 0.05$) la ganancia diaria de peso para cerdos en finalización.	35
Cuadro 16. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para maximizar ($p < 0.05$) la conversión alimenticia para cerdos en finalización.	36
Cuadro 17. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para minimizar ($p < 0.05$) el contenido de grasa dorsal para cerdos en crecimiento.....	37
Cuadro 18. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para maximizar ($p < 0.05$) el ojo de chuleta para cerdos en crecimiento.	38
Cuadro 19. Estimación del valor de proteína y lisina para minimizar ($p < 0.05$) la grasa dorsal para cerdos en desarrollo.....	38
Cuadro 20. Estimación del valor de proteína y lisina para optimizar ($p < 0.05$) el ojo de chuleta para cerdos en desarrollo.....	39
Cuadro 21. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para minimizar ($p < 0.05$) la grasa dorsal para cerdos en finalización.....	40
Cuadro 22. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para optimizar ($p < 0.05$) el ojo de chuleta para cerdos en finalización.....	41
Cuadro 23. Estimación del consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo lineal.....	42
Cuadro 24. Estimación del consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cuadrático.....	43
Cuadro 25. Estimación del consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cúbico.....	43
Cuadro 26. Estimación de ganancia diaria de peso como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo lineal.....	44
Cuadro 27. Estimación de ganancia diaria de peso como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cuadrático.....	45
Cuadro 28. Estimación de ganancia diaria de peso como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cúbico.....	46

Cuadro 29. Estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo lineal.....	48
Cuadro 30. Estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cuadrático.....	48
Cuadro 31. Estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cúbico.....	49
Cuadro 32. Estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo lineal.	51
Cuadro 33. Estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cuadrático.....	52
Cuadro 34. Estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cúbico.	53
Cuadro 35. Estimación del ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo lineal.....	54
Cuadro 36. Estimación del ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cuadrático.....	55
Cuadro 37 Estimación del ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cúbico.....	56
Cuadro 38. Comparación niveles dietéticos de lisina en variables de respuesta de comportamiento productivo para cerdos en crecimiento.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de estimación de consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo de regresión lineal.....	42
Figura 2. Gráfico de estimación de consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cuadrático.....	43
Figura 3. Gráfico de estimación de consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cúbico.....	44
Figura 4. Gráfico de estimación de ganancia diaria de peso como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo lineal.....	45
Figura 5. Gráfico de estimación de ganancia diaria de peso por lisina como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cuadrático.....	46
Figura 6. Gráfico de estimación de ganancia diaria de peso como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cúbico.....	47
Figura 7. Gráfico de estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo lineal.....	48
Figura 8. Gráfico de estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cuadrático.....	49
Figura 9. Gráfico de estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cúbico.....	50
Figura 10. Gráfico de estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo lineal.....	51
Figura 11. Gráfico de estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cuadrático.....	52
Figura 12. Gráfico de estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cúbico.....	54
Figura 13. Gráfico de estimación de ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo lineal.....	55

Figura 14. Gráfico de estimación de ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cuadrático. 56

Figura 15. Gráfico de estimación de ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cúbico. 57

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Ecuaciones para calcular el nivel de lisina dietética obtenidas a partir de regresiones.	63
---	----

DEDICATORIAS

A mis padres, el Ing. Higinio Martínez Martínez y la Profa. Roselia Santiago Marcial, por darme la vida y siempre creer en mí, por ser los pilares que sustentan mi existencia, el ejemplo que me guía a ser siempre una mejor persona y la fuerza para superar las adversidades.

A mis hermanos, Yamileth y Tenamitl, porque, a pesar de ser más jóvenes, me han enseñado más de la vida que lo que yo a ellos, por compartir conmigo la dicha de vivir en familia.

A todos los amigos que he hecho en esta hermosa universidad, porque más que amigos, aquí encontré otra familia: Jesús Márquez, Abraham, Aliberth, Diego, Orlando, Chino, Nandi, Roberto, Mauricio, Olaf, Pachito, Benavides, Abel, Ronald, Esli, Jetro, Marilyn, Magtiel, Alfredo, Rogelio, Gustavo, Flor, Nury, Elba, Arzate, Lulú, Yoel, Camilo, Torhec, Fonseca ... en fin, a todos los que han hecho mi vida como estudiante más dichosa y espero que se queden en mi proceder para siempre, incluso, a los que por falta de tiempo, memoria o espacio no mencioné (espero me disculpen, también son muy importantes para mí).

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado para estudiar la Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera.

A la Universidad Autónoma Chapingo y Posgrado en Producción Animal por brindarme la oportunidad y el apoyo para realizar estudios de maestría.

Al Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta por su amistad, dirección, enseñanzas y la confianza brindada que me permitieron culminar la presente tesis.

Al Ph.D. Agustín Ruíz Flores por sus enseñanzas, confianza y amistad brindada durante la estancia en esta institución.

Al M.C. Constantino Romero Márquez por sus enseñanzas, consejos, tiempo y empeño en la realización de la presente tesis.

Danibaan

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Danibaan Martínez Santiago
Fecha de nacimiento	29 de marzo de 1991
Lugar de nacimiento	Tlacolula de Matamoros, Oaxaca
No. Cartilla militar	D-0937425
CURP	MASD910329HOCRNN08
Profesión	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cédula profesional	11509594

Desarrollo académico

Licenciatura	Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, 2009-2014
Maestría	Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, 2017-2018

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

En nutrición porcina es importante maximizar la eficiencia de los recursos alimenticios, una estrategia para lograrlo, es no exceder la inclusión de aminoácidos (AA) y mantener el balance de estos en la dieta (National Research Council [NRC], 2012), para evitar pérdidas por oxidación y excreción de nitrógeno (Bikker, Verstegen, Campbell, & Kemp, 1994).

Generalmente, el primer AA limitante para cerdos en crecimiento y finalización es la lisina (LYS; NRC, 2012). Los requisitos de energía en la ración se expresan en relación con los de LYS. El crecimiento de los cerdos depende, entonces, del contenido dietético de energía y LYS, ya que una relación inadecuada o excesiva entre estos nutrimentos tiene efectos negativos en el desempeño productivo (Campbell & Taverner, 1988). Uno de los objetivos en la producción de cerdos de engorda es conseguir una mayor deposición de músculo magro en la canal; para ello, la alimentación es un factor clave, por lo que se debe prestar especial atención a la concentración energética y de LYS en los alimentos, según la edad del cerdo (Schneider et al., 2010).

Zhang et al. (2011) manifestaron que las dietas que contienen una cantidad excesiva o desbalanceada de AA y energía, tienen como consecuencia un decremento en la utilización de proteína, y afectan la deposición de tejido magro. Del mismo modo, De La Llata, Dritz, Tokach, Goodband, y Nelssen (2007) encontraron que la tasa de crecimiento se incrementa linealmente cuando aumenta la relación de LYS con la energía metabolizable (EM). Lo anterior puede explicarse debido a que la energía usada degradación de proteína decrece a medida que se reduce el contenido de proteína cruda (PC), lo cual disminuye la producción de calor (Zhang et al., 2011); estos últimos autores también encontraron que cuando se formulan raciones con baja cantidad de PC en relación con energía neta (EN), esta última se almacena como grasa. Por su parte, De La Llata et al. (2007) encontraron que el rendimiento magro de la canal aumenta a medida que la relación LYS: EM es mayor.

Aun cuando se han llevado a cabo diversos estudios acerca de los efectos de la relación LYS y energía en el comportamiento productivo y las características de la canal en porcinos, los resultados han sido variables, por lo que aún no hay certeza acerca de la proporción óptima entre estos nutrimentos para determinar la respuesta productiva deseable (Apple et al., 2004; Nam & Aherne, 1994; Smith, Tokach, O'Quinn, Nelssen, & Goodband, 1999; Szabó, Jansman, Babinszky, Kanis, & Verstegen, 2001). Del mismo modo, alimentar a los porcinos sobreestimando sus requisitos nutrimentales no asegura que no haya cerdos con deficiencias nutrimentales, y en efecto, las guías empíricas expresan recomendaciones con base en márgenes de seguridad en vez de requisitos nutrimentales, resultando en un excedente de nutrientes; adicionalmente, la calidad de la canal y el rendimiento biológico son preocupaciones fundamentales en la industria porcina (Pomar, Pomar, Dubeau, Joannopoulos, & Dussault, 2014). Por tanto, la principal problemática que enfrenta el nutriólogo es que no hay certeza acerca de los niveles de estos nutrimentos para determinar o estimar con cierto grado de error la respuesta productiva deseable (Apple et al., 2004; Nam & Aherne, 1994; Smith et al., 1999; Szabó et al., 2001). En la presente investigación se plantea que los requisitos nutrimentales de energía, PC y LYS para cerdos de engorda basados en tablas de referencias internacionales, no están actualizados, por lo que el nutriólogo se enfrenta a la inseguridad para estimar respuestas productivas deseables al tener en cuenta los niveles nutrimentales recomendados. Por lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron determinar los niveles de energía, PC y LYS, comparando la información de los artículos revisados con las tablas internacionales de requisitos nutrimentales, y estimar el nivel de lisina en dietas para cerdos de engorda, que explique mejor y prediga la relación de este nutrimento con el comportamiento productivo y calidad de la canal para actualizar los requisitos nutrimentales de cerdos de engorda.

En el Capítulo 2 se revisa literatura relacionada con la importancia de la energía y proteína, haciendo énfasis en los AA en las raciones para porcinos de engorda, en especial LYS; así como los efectos de la nutrición en las características de la canal porcina.

En el Capítulo 3 se muestran los resultados del análisis de un compendio de artículos científicos relacionados con niveles de LYS y energía en dietas para cerdos en engorda.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la energía en la nutrición porcina

Según Quiles y Hevia (2009), la energía es el nutrimento más crítico de la ración, pues es el más caro y el que limita la expresión del potencial de crecimiento de los cerdos, afectando el desarrollo y finalización de estos. La EM es usada, primordialmente para el metabolismo basal, que es la actividad mínima requerida para sostener la vida del cerdo; incluyendo la actividad celular, respiración, circulación, actividad muscular, secreción y excreción, si hay un exceso de energía después del metabolismo basal, esa energía se retiene en el cuerpo y se puede usar para otras funciones (Lizardo, Van Milgen, Mouro, Noblet, & Bonneau, 2002).

Entre 80 y 90% de la energía presente en el alimento la digiere el cerdo, pero no toda es retenida, llegando a aprovechar sólo 50%, el resto se pierde por la orina y en forma de metano o calor (Quiles & Hevia, 2009).

Noblet (2007) establece que es importante conocer los requisitos de energía del animal para escoger el mejor sistema de energía y utilizarlo en la formulación de las dietas; asimismo, menciona que es una buena opción usar el sistema basado en EN, debido a que, en contraste con los sistemas basados en energía digestible (ED) y EM, éste permite una mejor expresión del contenido de energía en la dieta, ya que considera las diferencias en la utilización de EM entre los nutrimentos.

Por su parte, Le Bellego y Noblet (2002) estipularon que la EN refleja, en la misma base, los requisitos energéticos del animal y el aporte de energía por los alimentos, a la vez que considera la pérdida de calor en el catabolismo y excreción de nitrógeno durante el metabolismo de las proteínas.

El sistema de formulación basado en EN ha atraído la atención de los nutriólogos, principalmente si se considera la reducción en los costos de las dietas; de cualquier modo, aún no hay suficiente información al respecto para cerdos en etapa de finalización, en especial, cuando la opción es usar bajos niveles

dietéticos de PC, por lo que se sigue utilizando el sistema basado en EM (Zhang et al., 2011).

Marotta, Lagreca y Tamburini (2009) mencionaron que el costo energético del crecimiento está ligado a la formación de tejidos, ya que la necesidad de energía depende de la cantidad de músculo y grasa depositada. Para depositar 1 g de proteínas el animal necesita 9.5 Kcal EM, y para depositar 1 g de lípidos 11.95 Kcal EM. Por tanto, como el músculo posee alrededor de 22% de PC y 6% de lípidos, entonces para formar 1 g de músculo necesitará 2.8 Kcal EM y para formar 1 g de grasa compuesta por 80% de lípidos y 5% de proteínas requerirá 9.7 Kcal EM. Por ejemplo, un animal de 50 kg de peso que gane 700 g d⁻¹ requerirá 6,253 Kcal ED d⁻¹ (6,003 Kcal EM, 4,442 Kcal EN) (Marotta et al., 2009).

La energía está relacionada con la proteína y los AA por lo que, encontrar una buena relación entre estos nutrimentos, es importante para maximizar los rendimientos en porcinos; una estrategia es disminuir el contenido de PC para proveer mayor EN, debido a la reducción de la desaminación y la excreción de urea y a la menor producción de calor endógeno generada por el exceso de AA (Andretta et al., 2014). De otro lado, según Fracaroli, et al. (2017) indicaron que alimentar cerdos con 2388 a 2563 kcal EN kg⁻¹ en dietas reducidas en PC y suplementadas con AA sintéticos, da como resultado un buen desempeño productivo en cerdos en finalización; ya que niveles inferiores o superiores de EN, generan que los cerdos pasen más tiempo en los comederos y disminuyan su eficiencia alimenticia.

La fuente energética también influye en la nutrición porcina; por ejemplo, aunque la grasa es una fuente importante de energía, el almidón y los azúcares son los ingredientes energéticos predominantes en dietas para porcinos, por lo que la mayoría de requisitos de AA han sido determinados para raciones ricas en almidón (Bruininx et al., 2011). Asimismo, el crecimiento, digestibilidad de nutrimentos, y calidad de la canal son superiores cuando se usan dietas basadas en cereales, que aquellas con base en subproductos, las cuales, pese a ser

formuladas con altas concentraciones energéticas presentan parámetros productivos inferiores (Clarke, Duffy, Rajauria, & O' Doherty, 2018).

2.2 Importancia de la proteína y los AA en la nutrición porcina

Las proteínas están formadas por AA y de acuerdo con el número, tipo y orden de cada AA serán las propiedades y calidad nutricional de la proteína para cubrir los requisitos de los animales (Church, Pond, & Pond, 2004). Estos autores señalan que los AA son nutrientes importantes para los animales y se dividen en esenciales y no esenciales, estos últimos son aquellos que el cerdo no puede sintetizar o no con la velocidad que se requiere. Existen cerca de 20 AA importantes para la nutrición, entre ellos 10 son considerados esenciales para cerdos (Church et al., 2004; Watford, Kutschenko, & Nogueira, 2011), como se muestra en el Cuadro 1. **Clasificación de los aminoácidos de acuerdo con su importancia**

Wu (2010) establece que, además de servir como bloques en la construcción de proteína, los AA tienen múltiples funciones de regulación en las células, ya que son esenciales para el crecimiento, el desarrollo y la salud de los animales. Dentro de las funciones de los AA están: síntesis de proteínas, balance ácido-base, control de apetito, crecimiento y desarrollo, defensa antioxidante, sustrato energético, inmunidad y salud, apoyo a la respuesta al estrés, lactación, reproducción, pigmentación, regulación metabólica, remoción de amonio, y síntesis de ADN y ARN.

Cuadro 1. Clasificación de los aminoácidos de acuerdo con su importancia.

Esenciales (indispensables)	No esenciales (dispensables)
Arginina (ARG)	Alanina (ALA)
Histidina (HIS)	Asparagina (ASN)
Isoleucina (ILE)	Cisteína (CYS)
Leucina (LEU)	Glutamato (GLU)
Lisina (LYS)	Glutamina (GLN)
Metionina (MET)	Glicina (GLY)
Fenilalanina (PHE)	Aspartato (ASP)
Treonina (THR)	Prolina (PRO)
Triptófano (TRP)	Serina (SER)
Valina (VAL)	Tirosina (TYR)

Church et al. (2004); Watford et al. (2011).

Los cerdos requieren de AA individuales en la dieta para sintetizar sus componentes proteicos, generados mediante reacciones metabólicas que combinan más de 20 AA. Durante el proceso de digestión, las proteínas de la dieta se hidrolizan en AA que luego se absorben. A nivel celular los AA se incorporan a las nuevas proteínas que tienen diversas funciones: enzimáticas, estructurales, etc. (García, De Loera, Yagüe, Guevara, & García, 2012).

En la alimentación porcina se debe proporcionar la concentración adecuada de AA esenciales, para satisfacer correctamente sus requisitos de mantenimiento y producción; pueden estar presentes en una determinada fuente proteica, pero su grado de utilización dependerá de su disponibilidad para incorporarse al metabolismo normal del organismo (Wu, 2010).

El conocimiento de los requisitos de AA y la respuesta a su suplementación en cerdos es esencial en la formulación de raciones. Una deficiencia en el suministro de AA resulta en una reducción del comportamiento productivo, mientras que, un exceso en el suministro de los mismos, es costoso y conlleva a una excreción excesiva de nitrógeno e impacto negativo al ambiente (Van Milgen & Dourmand, 2015).

Actualmente se usan AA sintéticos: LYS, MET, TRP y THR, los cuales están disponibles comercialmente a precios accesibles, para complementar las dietas y reducir el porcentaje de PC; estos AA permiten obtener su equilibrio óptimo, logrando un mejor aprovechamiento, ya que el cerdo retiene solo un tercio de la proteína ingerida, eliminándose dos tercios en heces y orina (Vílchez, 2013).

2.2.1 Proteína ideal

El concepto de proteína ideal se refiere a la proteína cuyo perfil de AA cubre exactamente los requisitos del animal. Así, los AA determinan el comportamiento productivo; debido a que LYS es el primer AA limitante, el perfil ideal de AA es comúnmente expresado en relación con LYS (Van Milgen & Dourmand, 2015). Estos autores también manifestaron que la expresión de AA con relación a LYS es muy útil desde el punto de vista práctico, por lo que ha recibido la mayor atención por parte de los nutriólogos, y una cantidad importante de investigaciones se han realizado para describir los cambios de LYS durante el crecimiento, gestación y lactancia (De la Llata et al., 2007; Van Milgen & Dourmad, 2015).

Cuadro 2. Perfil de aminoácidos para formular con base en proteína ideal para cerdos en crecimiento.

Aminoácidos	NRC ^z (1998)	NRC ^y (2012)	Rostagno ^x (2017)
LYS (%)	100	100	100
MET+CYS (%)	47	56	54
THR (%)	52	60	60
VAL (%)	56	65	64
ILE (%)	45	52	51
LEU (%)	83	101	92
TRP (%)	15	17	16
HIS (%)	26	34	30

^z National Research Council, 1998. Nutrient requirements of swine.

^y National Research Council, 2012. Nutrient requirements of swine.

^x Rostagno et al., 2017. Tablas brasileñas para aves y cerdos.

Si los requisitos de otros AA son en su mayoría para síntesis de proteína, los requisitos para esos AA deben ser relativamente constantes (relacionados con LYS). Esto simplifica en gran medida la nutrición práctica, ya que los nutriólogos sólo tienen que saber de los cambios en los requisitos de LYS en el tiempo y combinarlo con el perfil constante de proteína ideal. Varios autores han establecido niveles de AA con base en LYS, para formular alimentos con perfil ideal de AA para cerdos en crecimiento (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

2.2.2 Lisina

Mariano (2015) mencionó que la LYS es también denominada monohidrato de L-lisina, pertenece a los AA con grupo R cargado positivamente a pH de 7, con 6 átomos de carbono. Comercialmente se encuentra como L-lisina y se obtiene de la fermentación oxidativa de los microorganismos utilizando como sustrato una fuente de carbono (azúcar, almidón, melazas) y nitrógeno (sales

amónicas, amoniaco, hidrolizados proteicos); también se puede obtener a partir de procesos enzimáticos del α -amino- ϵ -caprolactama.

Este autor indica que actualmente los productos comerciales presentan una pureza mínima de 98% cuyo aporte de LYS corresponde al 78% con un contenido de cloro cercano a 20%; se ha iniciado la comercialización de LYS líquida al 50%. La diferencia más notable con respecto a la L-lisina en polvo, aparte de la presentación y de la riqueza en el AA, es que no aporta cloro, cuya ventaja práctica importante es la facilidad de manejo y de almacenamiento. También señala que con la comercialización de L-lisina se tiene mayor flexibilidad en el uso de ingredientes alimenticios no tradicionales, que les permiten mejorar la rentabilidad sin la pérdida de la calidad del alimento. Como resultado, el requisito de LYS en los animales puede ser satisfecho de manera efectiva al reducir la proporción de ingredientes costosos y de alto valor proteico.

La LYS es el AA más importante para la síntesis de proteína a nivel celular y, por tanto, es formadora de tejido magro; además, sirve como donante de grupos amino para la síntesis de otros AA (De la Llata et al., 2007). Contrariamente a esto, los cerdos no la pueden sintetizar a partir de otros AA, y la síntesis de proteína queda limitada si no hay LYS disponible para el metabolismo y, al no haber síntesis endógena, este AA debe ser obligadamente suministrado a través del alimento (Rostagno et al., 2017). Hurtado-Nery, de Ribeiro Nobre-Soares, y Sant'Anna-Lyra (2012) encontraron que los niveles de LYS hasta 0.93% en la composición centesimal de la ración mejoran la ganancia de peso y la conversión alimenticia, asimismo, estimaron que 0.88% es el requisito de LYS digestible para obtener la máxima ganancia de peso en cerdos en crecimiento entre 45 a 70 kg de peso vivo.

La composición nutrimental de la dieta debe adecuarse para alcanzar un balance óptimo entre los requisitos de energía y AA; por lo que la formulación con dietas bajas en proteínas suplementadas con AA cristalinos, es una técnica ampliamente usada (Ball et al., 2013).

El requisito de LYS digestible ha sido estimada en cerdos entre 45 y 80 d de vida (14 a 35 kg de peso vivo) es 1.28% de la dieta; para cerdos entre 80 y 101 días de edad (35 a 50 kg de peso vivo), el requisito es igual o menor que 0.9% (Carranza, Rosales, & Ibarngüengoytia, 2005), mientras que Hurtado-Nery et al. (2012) estimaron en 0.879% el requisito de LYS digestible para obtener la mayor ganancia de peso en cerdos de 45 a 70 kg de peso vivo. Por su parte, Abreu (2007) estimó en 0.93% el requisito de LYS digestible para cerdos de 60 a 95 kg de peso vivo; por otra parte, Moreira et al. (2004) establecieron en 0.75% el nivel de dicho nutrimento para la misma etapa. Pese a lo anterior, habría que considerar que el requisito de LYS y otros nutrientes están influidos por la raza, línea genética, sexo, heterosis, etapa de desarrollo del animal, temperatura ambiental, humedad relativa, estado sanitario y otros factores (Rostagno et al., 2017).

2.3 Impacto de la nutrición en la canal porcina

Los parámetros de calidad en la canal porcina incluyen, espesor de la grasa dorsal (GD), área del ojo de chuleta o músculo *Longissimus dorsi* (MLD) y diferentes medidas de peso, tales como: peso vivo, y peso de la canal caliente y fría (Braña, Rojo-Gómez, Ellis, & Cuaron, 2013).

Denaburski, Sáiz y Bak (2001) mencionaron que la necesidad de obtener líneas genéticas porcinas con mayor conformación muscular ha ocasionado que éstas sean más susceptibles al estrés y presenten problemas de calidad como la carne pálida, suave y exudativa (PSE).

La carne PSE es un defecto de calidad asociado con una tasa rápida de glicólisis *post-mortem*, y se caracteriza por una alta tasa de acidificación en la primera hora después del sacrificio (Guardia et al., 2004). La disminución del pH, combinado con la alta temperatura muscular, causa desnaturalización de las proteínas, excediendo lo observado en el músculo normal, conduciendo a la producción de carne PSE; debido a esto, existe un incremento en la pérdida de agua y palidez, por lo que este tipo de carne es considerada por los consumidores como de

inferior calidad, además de tener menor valor para procesos industriales (Schilling et al., 2004).

El contenido de carne magra es un factor fundamental en el rendimiento de las canales porcinas y está relacionado con la GD, la cual está distribuida uniformemente sobre los músculos y la medición de la GD se considera relativamente fácil, se incluye en todos los esquemas de clasificación; por lo anterior, el predictor de la composición corporal más utilizado en la práctica sigue siendo GD (Lloveras, Borrás, & Carden, 1990). El interés creciente por la calidad implica la necesidad de conocer el contenido y la composición de GD en la canal.

Basso (2000) señaló que la composición del tejido graso del cerdo puede ser afectada por: edad y peso, adiposidad de la canal, alimentación, genética, sexo, madurez fisiológica, localización anatómica, factores ambientales y uso de promotores de crecimiento; asimismo, existe evidencia de que la composición de nutrimentos en la dieta de los cerdos puede aminorar el efecto negativo de la predisposición genética en la calidad de la canal, por ejemplo, la energía obtenida a partir de ciertos granos y grasas, proteína, algunos AA, ácidos orgánicos, vitaminas y minerales específicos.

El efecto de la densidad energética de la dieta en los rendimientos de los cerdos en engorda es un tema de debate; en general, al aumentar ésta, se mejora la conversión y aumenta la deposición de GD e intramuscular (Liu et al., 2007). Sin embargo, los efectos de la concentración de EN son inconsistentes (Coca et al., 2012; Quiniou & Noblet, 2012). A su vez, la reducción de la densidad energética en la dieta de cerdos en crecimiento a finalización no afecta la palatabilidad de la carne (Lee et al., 2002).

De acuerdo con Cameron et al. (1999), el contenido de colágeno en músculo, y el índice de fragmentación microfibrilar (índice de proteólisis postmortem) no son afectados por el consumo. Aunado a esto, en algunos estudios se ha observado que la carne de porcinos alimentados a libre acceso durante la etapa crecimiento a finalización fueron mejor calificados por expertos, en cuanto a sabor (Blanchard

et al., 1999), jugosidad y, sobre todo, aceptabilidad (Ellis, Webb, Avery, & Brown, 1996).

En un estudio realizado por Figueroa, Cervantes, Cuca y Méndez (2004), se encontró que las dietas bajas en proteína adicionadas con AA sintéticos y con menor concentración de EM, redujeron la grasa de la canal en machos castrados. Aunque las hembras parecen ser susceptibles a este tipo de dietas, los machos tuvieron una mejor calidad de la canal (ganancia de carne magra y área del MLD).

Los cerdos alimentados con sorgo y maíz, independientemente de la forma de presentación de los mismos, son beneficiosos para la salud humana en el consumo fresco de carne, por contener en sus grasas ácidos mono y poliinsaturados, y para la industrialización de la carne, al disminuir la posibilidad de enranciamiento, por relativa presencia de ácidos grasos poliinsaturados (Braun, Pattacini, Scoles, & Cervellini, 2007). Por otra parte, la fuente del cereal en la dieta puede generar diferencias en la palatabilidad del músculo porcino; por ejemplo, un estudio realizado por Lampe, Baas y Mabry (2006) indicó que la carne de cerdos alimentados con trigo tuvo mejor aceptación que con sorgo, mientras que los suministrados con una mezcla de maíz blanco y amarillo tuvieron mejor calificación en jugosidad y sabor, que los que se alimentaron con mezclas de maíz blanco o amarillo con cebada, respectivamente.

Cerdos alimentados con dietas bajas en proteína, adicionadas con lisina, metionina, treonina y triptófano sintéticos, excretan menos nitrógeno en heces, reducen la pérdida de energía (Le Bellego, Van Milgen, Dubois, & Noblet, 2001) y aumentan la retención de EM en tejidos corporales, principalmente grasa. Por tanto, la canal del cerdo presenta mayor cantidad de tejido adiposo (Kerr, McKeith & Easter, 1995; Tuitoek, Young, De Lange, & Kerr, 1997). La disminución de PC en dietas cereal-pasta de soya puede reducir la desaminación de los excesos de AA, la consecuente síntesis de urea y su excreción en la orina.

El estrés causado previo al sacrificio afecta las reservas musculares de glucógeno, lo cual provoca pérdidas en la canal, por lo que es importante el

manejo nutrimental del ganado antes del sacrificio; una estrategia conveniente es suplementar con L-Triptófano, el cual incrementa la producción de serotonina, que mitiga las concentraciones de cortisol y reduce el índice PSE (Guzik, Matthews, Kerr, Bidner, & Southern, 2006).

Por su parte, la creatina incrementa la biodisponibilidad de fosfato de creatina para la producción de ATP celular, especialmente en músculo activo, ahorrando glucógeno muscular y reduciendo la incidencia de PSE en la carne (Young, Bertram, Rosenvold, Lindahl, & Oksbjerg, 2005).

Otra estrategia es la suplementación con magnesio, que ha mostrado reducir efectivamente el estrés *ante mortem* de los cerdos y el índice de carne PSE; la suplementación con este mineral, por lo menos una semana antes del sacrificio, mejora la retención de agua en la canal fresca y el color (D'Souza, Warner, Leury, & Dunshea, 2000).

2.4 Literatura citada

- Andretta, I., Pomar, C., Rivest, J., Pomar, J., Lovatto, P. A., & Radünz Neto, J. (2014). The impact of feeding growing–finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding techniques on animal performance, nutrient utilization, and body and carcass composition. *Journal of Animal Science*, 92(9), 3925-3936.
- Apple, J. K., Maxwell, C. V., Brown, D. C., Friesen, K. G., Musser, R. E., Johnson, Z. B., & Armstrong, T. A. (2004). Effects of dietary lysine and energy density on performance and carcass characteristics of finishing pigs fed ractopamine. *Journal of Animal Science*, 82(11), 3277-3287.
- Ball, M. E. E., Magowan, E., McCracken, K. J., Beattie, V. E., Bradford, R., Gordon, F. J., ... & Henry, W. (2013). The effect of level of crude protein and available lysine on finishing pig performance, nitrogen balance and nutrient digestibility. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(4), 564.
- Basso, L. (2000). Calidad de la canal y de la carne porcina. Memorias I curso de aspectos productivos y de comercialización en el sector porcino, Buenos Aires. Argentina.
- Bikker, P., Verstegen, M. W. A., Campbell, R. G., & Kemp, B. (1994). Digestible lysine requirement of gilts with high genetic potential for lean gain, in relation to the level of energy intake. *Journal of Animal Science*, 72(7), 1744-1753.
- Blanchard, P. J., Ellis, M., Warkup, C. C., Hardy, B., Chadwick, J. P., & Deans, G. A. (1999). The influence of rate of lean and fat tissue development on pork eating quality. *Animal Science*, 68(3), 477-485.
- Braña, D. V., Rojo-Gómez, G. A., Ellis, M., & Cuaron, J. A. (2013). Effect of gender (gilt and surgically and immunocastrated male) and ractopamine hydrochloride supplementation on growth performance, carcass, and pork quality characteristics of finishing pigs under commercial conditions. *Journal of Animal Science*, 91(12), 5894-5904.
- Braun, R., Pattacini, S., Scoles, G., & Cervellini, J. (2007). Productividad y calidad de grasa corporal en cerdos alimentados con cereales crudos y extruidos. Recuperado de <http://www.ciap.org.ar>.
- Bruininx, E., van den Borne, J., van Heugten, E., van Milgen, J., Verstegen, M., & Gerrits, W. (2011). Oxidation of Dietary Stearic, Oleic, and Linoleic Acids in Growing Pigs Follows a Biphasic Pattern, 2. *The Journal of Nutrition*, 141(9), 1657-1663.

- Cameron, N. D., Penman, J. C., Fiskén, A. C., Nute, G. R., Perry, A. M., & Wood, J. D. (1999). Genotype with nutrition interactions for carcass composition and meat quality in pig genotypes selected for components of efficient lean growth rate. *Animal Science*, 69(1), 69-80.
- Campbell, R. G., & Taverner, M. R. (1988). Genotype and sex effects on the relationship between energy intake and protein deposition in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 66(3), 676-686.
- Carranza, B. M., Gómez, S., & Cuarón, J. A. (2005). Requerimientos de lisina digestible de cerdos de 14 a 50 kg de peso corporal sujetos a diferentes condiciones de manejo y alojamiento. *Técnica Pecuaria en México*, 43(2), 139-153.
- Church, D. C., Pond, Y., & Pond, K. (2004). Fundamentos de nutrición y alimentación animales. Editorial Limusa-Wiley. 2a ed. México D. F. 635.
- Clarke, L. C., Duffy, S. K., Rajauria, G., & O'Doherty, J. V. (2018). Growth performance, nutrient digestibility and carcass characteristics of finisher pigs offered either a by-product or cereal based diet at two different concentrations of net energy. *Animal Feed Science and Technology*. 242, 77-85.
- Coca, G., Serrano, M. P., Cámara, L., Guzmán, P., Berrocoso, J. D., Coma, J., & Mateos, G. G. (2012). Influence of energy concentration of the diet and terminal sire line on growth performance and carcass and meat quality of pigs slaughtered at 115 kg of BW. *Journal of Animal Science*, 90(3), 421.
- De La Llata, M., Dritz, S. S., Tokach, M. D., Goodband, R. D., & Nelssen, J. L. (2007). Effects of Increasing Lysine to Calorie Ratio and Added Fat for Growing-Finishing Pigs Reared in a Commercial Environment: I. Growth Performance and Carcass Characteristics. *The Professional Animal Scientist*, 23(4), 417-428.
- Denaburski, J., Sáiz, F., & Bak, T. (2001). Causas más importantes y sistemas de prevención de casos de carne porcina defectuosa tipo PSE. *Anaporc. Revista de Porcinocultura*, año XXI(217), 35-43.
- D'Souza, D. N., Warner, R. D., Leury, B. J., & Dunshea, F. R. (2000). The influence of dietary magnesium supplement type, and supplementation dose and duration, on pork quality and the incidence of PSE pork. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51(2), 185-190.
- Ellis, M., Webb, A. J., Avery, P. J., & Brown, I. (1996). The influence of terminal sire genotype, sex, slaughter weight, feeding regime and slaughter-house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on the organoleptic properties of fresh pork. *Animal Science*, 62(3), 521-530.

- Figueroa-Velasco, J. L., Cervantes-Ramírez, M., Cuca-García, J. M., & Méndez-López, M. (2004). Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia*, 38(4), 383-394.
- Fracaroli, C., Perondi, D., dos Santos, L. S., da Silva, W. C., Veira, A. M., & Hauschild, L. (2017). Net energy levels of reduced crude protein, amino acid-supplemented diets for heavy pigs. *Livestock Science*, 205, 43-49.
- García, C. A., O. Y. G. De Loera, A. P. Yagüe, G. J. A. Guevara, & A. C. García. (2012). Alimentación práctica del cerdo. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*. 6, 21-50.
- Guardia, M. D., Estany, J., Balasch, S., Oliver, M. A., Gispert, M., & Diestre, A. (2004). Risk assessment of PSE condition due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs. *Meat Science*, 67(3), 471-478.
- Guzik, A. C., Matthews, J. O., Kerr, B. J., Bidner, T. D., & Southern, L. L. (2006). Dietary tryptophan effects on plasma and salivary cortisol and meat quality in pigs. *Journal of Animal Science*, 84(8), 2251-2259.
- Hurtado-Nery, V. L., de Ribeiro Nobre-Soares, R. D. T., & Sant'Anna-Lyra, M. (2012). Efecto de los niveles de lisina digestible sobre el rendimiento de cerdos en crecimiento de 45 a 70 kg de peso alimentados con raciones conteniendo subproductos de arroz. *Orinoquia*, 16(1), 223-229.
- Kerr, B. J., McKeith, F. K., & Easter, R. A. (1995). Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets. *Journal of Animal Science*, 73(2), 433-440.
- Lampe, J. F., Baas, T. J., & Mabry, J. W. (2006). Comparison of grain sources for swine diets and their effect on meat and fat quality traits. *Journal of Animal Science*, 84(4), 1022-1029.
- Le Bellego, L., & Noblet, J. (2002). Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. *Livestock Production Science*, 76(1-2), 45-58.
- Le Bellego, L., Van Milgen, J., Dubois, S., & Noblet, J. (2001). Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 79(5), 1259-1271.
- Lee, C. Y., Lee, H. P., Jeong, J. H., Baik, K. H., Jin, S. K., Lee, J. H., & Sohn, S. H. (2002). Effects of restricted feeding, low-energy diet, and implantation of trenbolone acetate plus estradiol on growth, carcass traits, and circulating concentrations of insulin-like growth factor (IGF)-I and IGF-binding protein-3 in finishing barrows. *Journal of Animal Science*, 80(1), 84-93.

- Liu, Z. H., Yang, F. Y., Kong, L. J., Lai, C. H., Piao, X. S., Gu, Y. H., & Ou, X. Q. (2007). Effects of dietary energy density on growth, carcass quality and mRNA expression of fatty acid synthase and hormone-sensitive lipase in finishing pigs. *AsianAustralasian Journal of Animal Sciences*, 20(10), 1587.
- Lizardo, R., Van Milgen, J., Mouro, J., Noblet, J., & Bonneau, M. (2002). A nutritional model of fatty acid composition in the growing-finishing pig. *Livestock Production Science*, 75(2), 167-182.
- Lloveras, M. R., Borrás, F., & Carden, A. E. (1990). Comparación de predictores de la composición corporal en cerdos vivos (234). Recuperado de <http://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Evaluacion%20de%20la%20composicion%20corporal%20en%20cerdos.pdf>.
- Mariano, C. A. (2015). Niveles de lisina y metionina en dietas bajas en proteína para cerdos en crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Marotta, E., Lagreca, L., & Tamburini, V. (2009). Requerimientos alimenticios adaptados al porcino moderno y calidad de carne. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de La Plata. 24 pp.
- Moreira, I., Kutschenko, M., Furlan, A. C., Murakami, A. E., Martins, E. N., & Scapinello, C. (2004). Exigência de lisina para suínos em crescimento e terminação, alimentados com rações de baixo teor de proteína, formuladas de acordo com o conceito de proteína ideal. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 26(4), 537-542.
- Nam, D. S., & Aherne, F. X. (1994). The effects of lysine: energy ratio on the performance of weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 72(5), 1247-1256.
- Noblet, J. (2007). Recent developments in net energy research for swine. *Advances in Pork Production. Banff Pork Seminar*, January, 16-19.
- NRC. (1998). National Research Council, nutrient requirements of swine. 10th Ed. National Academy Press. Washington, D. C., U. S. A.
- NRC. (2012). National Research Council, nutrient requirements of swine. 11th Ed. National Academy Press. Washington, D. C., U. S. A.
- Pomar, C., Pomar, J., Dubeau, F., Joannopoulos, E., & Dussault, J. P. (2014). The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed costs in growing–finishing pigs. *Animal*, 8(5), 704-713.

- Quiles, A., & Hevia, M. L. (2009). Estrategias nutricionales para reducir el impacto medioambiental de las explotaciones porcinas. *Producción Animal*, 24(250), 6-24.
- Quiniou, N., & Noblet, J. (2012). Effect of the dietary net energy concentration on feed intake and performance of growing-finishing pigs housed individually. *Journal of Animal Science*, 90(12), 4362-4372.
- Rostagno, H. S., Texeira, L. F. A., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. K., Perazzo, F., ... & de Oliveira Brito, C. (2017). *Tablas brasileñas para aves y cerdos. Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales* (4ª ed). Viçosa, Brasil: MG UFV.
- Schilling, M. W., Marriott, N. G., Acton, J. C., Anderson-Cook, C., Alvarado, C. Z., & Wang, H. (2004). Utilization of response surface modeling to evaluate the effects of non-meat adjuncts and combinations of PSE and RFN pork on water holding capacity and cooked color in the production of boneless cured pork. *Meat Science*, 66(2), 371-381.
- Schneider, J. D., Tokach, M. D., Dritz, S. S., Nelssen, J. L., DeRouchey, J. M., & Goodband, R. D. (2010). Determining the effect of lysine: calorie ratio on growth performance of ten-to twenty-kilogram of body weight nursery pigs of two different genotypes. *Journal of Animal Science*, 88(1), 137-146.
- Smith, J. W., Tokach, M. D., O'Quinn, P. R., Nelssen, J. L., & Goodband, R. D. (1999). Effects of dietary energy density and lysine: calorie ratio on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 77(11), 3007-3015.
- Szabó, C., Jansman, A. J., Babinszky, L., Kanis, E., & Verstegen, M. W. (2001). Effect of dietary protein source and lysine: DE ratio on growth performance, meat quality, and body composition of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 79(11), 2857-2865.
- Tuitoek, J. K., Young, L. G., De Lange, C. F., & Kerr, B. J. (1997). Body composition and protein and fat accretion in various body components in growing gilts fed diets with different protein levels but estimated to contain similar levels of ideal protein. *Journal of Animal Science*, 75(6), 1584-1590.
- Van Milgen, J., & Dourmad, J. Y. (2015). Concept and application of ideal protein for pigs. *Journal of Animal Science*, 6(1), 15.
- Vílchez, P. C. (2013). Importancia fisiológica de los aminoácidos en la nutrición de porcinos. Departamento Académico de Nutrición, Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultada en: <http://kg.actualidadporcina.com/articulos/importancia-fisiologica-aminoacidos-nutricion-lechones.html>.2013.

- Watford, M., Kutschenko, M., & Nogueira, E. T. (2011). Optimal dietary glutamine for growth and development. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40, 402-408.
- Wu, G. (2010). Functional amino acids in growth, reproduction, and health. *Advances in Nutrition*, 1(1), 31-37.
- Young, J. F., Bertram, H. C., Rosenvold, K., Lindahl, G., & Oksbjerg, N. (2005). Dietary creatine monohydrate affects quality attributes of Duroc but not Landrace pork. *Meat Science*, 70(4), 717-725.
- Zhang, G. J., Yi, X. W., Chu, L. C., Ning, L. U., Htoo, J., & Qiao, S. Y. (2011). Effects of dietary net energy density and standardized ileal digestible lysine: net energy ratio on the performance and carcass characteristic of growing-finishing pigs fed low crude protein supplemented with crystalline amino acids diets. *Agricultural Sciences in China*, 10(4), 602-610.

3 ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CALIDAD DE LA CANAL EN CERDOS DE ENGORDA EN RESPUESTA A ENERGÍA, PROTEÍNA Y LISINA

3.1 Resumen

En nutrición porcina es importante optimizar el uso de los recursos alimenticios. Una estrategia para lograrlo es suministrar en las dietas los niveles adecuados de nutrimentos. Adicionalmente, los requisitos nutrimentales de energía, proteína cruda (PC) y lisina (LYS) basados en tablas internacionales de referencia, no están actualizados. Los objetivos del presente trabajo fueron determinar los niveles de energía, PC y LYS, comparando la información de los artículos revisados, con las tablas internacionales de requisitos nutrimentales, y estimar el nivel de lisina en dietas para cerdos de engorda, que mejor explique y prediga la relación de este nutrimento con el comportamiento productivo y calidad de la canal. Para lograrlo, se analizaron 21 estudios que contenían datos de experimentos donde se evaluó la respuesta biológica de cerdos comerciales, producto de cruces entre razas occidentales a los diferentes niveles de estos nutrimentos. Se realizó una regresión lineal simple, cuadrática y cúbica, y se determinó energía metabolizable, PC y LYS con su efecto en el consumo diario de alimento (CDA), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), grasa dorsal (GD) y profundidad el músculo *Longissimus dorsi* (MLD). Los resultados obtenidos indican que en esta prueba, LYS tiene efecto en CA cercano al 86% en los modelos de regresión lineal cuadrático y cúbico, y GD con 63% en el modelo cúbico en todas las etapas evaluadas, pero no así en CDA, GDP y MLD; mientras que los niveles que maximizan el comportamiento productivo y calidad de la canal en la literatura analizada, no corresponden a lo establecido en las tablas nutrimentales de referencia.

Palabras Clave: nutrición, porcinos, aminoácidos, requerimientos, tablas de referencia.

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Danibaán Martínez Santiago

Director de Tesis: Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta

ESTIMATION OF PERFORMANCE AND CARCASS TRAITS IN PIGS OF FATTENING AS A RESPONSE TO ENERGY, PROTEIN AND LYSINE

3.2 Abstract

In swine nutrition is important to optimize the use of food resources. One strategy to achieve this is to provide adequate dietary levels of nutrients. Additionally, the requirements for energy, crude protein (PC) and lysine (LYS) based on international reference tables are out of date. The present study aimed to determine the energy levels, PC, and LYS, comparing the information of the articles reviewed with the international tables of nutritional requirements, and to estimate the level of lysine in diets for fattening pigs, which better explain and predict the relationship of this nutrient with the productive performance and carcass quality traits. Twenty one articles were analyzed to achieve the present study they included data from experiments where the biological response of commercial pigs were evaluated, as a result of crosses among improved breeds and different levels of these nutrients. A simple linear, quadratic and cubic regression was performed and determined metabolizable energy, PC, and LYS with their effects on daily food consumption (CDA), daily weight gain (GDP), feed conversion (CA), back fat (GD), and depth of the *Longissimus dorsi* (MLD) muscle. The results indicate that LYS has effects on CA close to 86% in the quadratic and cubic linear regression models, and GD has 63% in the cubic model in all the stages evaluated, but not in CDA, GDP and MLD. Meanwhile, levels that maximized the productive performance and carcass quality traits in the analyzed literature do not correspond to those established in the reference nutritional tables.

Key words: nutrition, swine, amino acids, requirements, reference tables.

3.3 Introducción

En nutrición porcina, es importante maximizar la eficiencia de los recursos alimenticios; una estrategia para lograrlo, es optimizar la inclusión de aminoácidos (AA) en la dieta (NRC, 2012), para evitar pérdidas por oxidación y excreción de nitrógeno (Bikker, Verstegen, Campbell, & Kemp, 1994).

Los modelos para predecir el comportamiento animal en función del manejo de la alimentación están basados en la hipótesis que una adecuada descripción de los conceptos biológicos, junto con la correcta aplicación de las herramientas matemáticas, otorgarán gran precisión y aplicación a dicho modelo. Generalmente, los modelos se definen como dinámicos o estáticos cuando dependen de la capacidad para simular cambios con respecto al tiempo; empíricos o mecanísticos cuando dependen de la incorporación de conceptos biológicos en sus estructura, ecuaciones y parámetros; y determinísticos o estocásticos dependiendo de la inclusión de elementos aleatorios en el modelo (Sainz, Baldwin, & Venazza, 2001).

Generalmente, el primer AA limitante para las etapas de crecimiento y finalización es la lisina (LYS), y los requisitos de energía en la ración se expresan en relación con LYS. El crecimiento de los cerdos depende, entonces, del contenido dietético de energía y LYS, ya que una relación inadecuada o excesiva entre estos nutrimentos tiene efectos negativos en el desempeño productivo (Campbell & Taverner, 1988).

Uno de los objetivos en la producción de cerdos de engorda es conseguir la mayor deposición de músculo magro posible en la canal, por lo que, un factor clave a considerar es la alimentación, debe prestarse especial atención a la concentración energética y de LYS en los alimentos, según la edad del cerdo (Schneider et al., 2010).

Aun cuando se han llevado a cabo diversos estudios acerca de los efectos de la relación LYS-energía en el comportamiento productivo y las características de la canal en porcinos, los resultados obtenidos han sido variables, por lo que, aún

no hay certeza de la proporción óptima entre estos nutrientes (Apple et al., 2004; Nam & Aherne, 1994; Smith, Tokach, O'Quinn, Nelssen, & Goodband, 1999; Szabó, Jansman, Babinszky, Kanis, & Verstegen, 2001). Del mismo modo, alimentar a los porcinos sobreestimando sus requisitos nutrimentales asegura que no haya cerdos con deficiencias nutrimentales, y en efecto, las guías empíricas expresan recomendaciones con base en márgenes de seguridad en vez de requisitos nutrimentales, resultando en un excedente de nutrientes; Adicionalmente, la calidad de la canal y el rendimiento biológico son preocupaciones fundamentales en la industria porcina (Pomar, Pomar, Dubeau, Joannopoulos, & Dussault., 2014). En la presente investigación se plantea que los requisitos nutrimentales de energía, proteína cruda (PC) y LYS para cerdos de engorda basados en tablas internacionales de referencia, no están actualizados, por lo que el nutriólogo se enfrenta a la inseguridad para estimar respuestas productivas deseables al tener en cuenta los niveles nutrimentales recomendados. Por lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron determinar los niveles de energía, PC y LYS, comparando la información de los artículos revisados con las tablas internacionales de requisitos nutrimentales, y estimar el nivel de lisina en dietas para cerdos de engorda, que explique mejor y prediga la relación de este nutriente con el comportamiento productivo y calidad de la canal, para actualizar los requisitos nutrimentales de cerdos de engorda.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Selección de artículos

Se utilizaron 21 artículos científicos publicados entre enero de 2004 y septiembre de 2018. Se utilizaron los buscadores: Scielo, Scopus, Pubmed, Scholar Google, Redalyc y Science Direct. Para el criterio de selección de las publicaciones se consideró que se utilizaran diferentes niveles dietéticos de energía (EN), PC y LYS, mismos que hayan permitido evaluar el comportamiento productivo de los cerdos y las características de la canal.

Cuadro 3. Artículos científicos utilizados para determinar la relación de lisina con el comportamiento productivo en cerdos de engorda.

Autor	Año
Aguinaga, Nieto, Lara y Aguilera	2017
Apple et al.	2004
Cline, Tsai y Stelzleni	2016
Echeverry Zuluaga, Gómez Zapata y Parra Suescún	2008
Fracaroli et al.	2017
Gutiérrez et al.	2016
Hurtado-Ney, de Ribeiro Nobre-Soares y Sant' Anna-Lyra	2012
Katsumata, Kobayashi, Ashihara y Ishida	2018
Kim, Ingale, Kim, Kim y Chae	2011
Lanferdini et al.	2013
Martínez et al.	2014
Pérez, Obispo, Palma y Chico	2005
Pires et al.	2016
Schiavon et al.	2018
Suárez, Sanz, Guada y La Torre	2016
Suescún y Sánchez	2008
Witte, Ellis, McKeith y Wilson	2000

Para evaluar el comportamiento productivo se usaron artículos que analizaron el consumo diario de alimento (CDA), ganancia diaria de peso (GDP) y conversión alimenticia (CA), teniendo en cuenta el peso vivo inicial (Pi) y (Pf) en las etapas (crecimiento, desarrollo y finalización). Para calidad de la canal se usaron artículos que analizaron grasa dorsal (GD) y ojo de chuleta (MLD) en las tres etapas mencionadas anteriormente. Para hacer las regresiones entre LYS y

CDA, GDP y CA se analizaron los artículos descritos en el Cuadro 3 mientras que para la determinación entre EN con CDA, GDP y CA, se usaron las publicaciones descritas en el **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida..**

Cuadro 4. Artículos científicos utilizados para determinar la relación de energía neta con el comportamiento productivo en cerdos de engorda.

Autor	Año
Aguinaga, Nieto, Lara y Aguilera	2017
Apple et al.	2004
Casas, Overholt, Dilger, Boler y Stein.	2018
Cline, Tsai y Stelzleni	2016
Figueroa-Velasco, Cervantes-Ramírez, Cuca-García y Méndez-López	2004
Kim, Ingale, Kim, Kim y Chae	2011
Lanferdini et al.	2013
Lerner et al.	2018
Schinkel et al.	2015
Suárez, Sanz, Guada y La Torre	2016

3.4.2 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de regresión lineal simple, cuadrático y cúbico con el paquete estadístico SAS 9.4 (SAS, 2016), usando GLM para encontrar la relación entre LYS con cada parámetro productivo (CDA, GDP y CA), así como las variables para calidad de la canal (GD y MLD). La elección del análisis de regresión se soporta con lo encontrado por Pesti, Vedenov, Cason y Billard (2009), quienes afirman que los modelos de regresión son más efectivos para recopilar información de datos.

Se presentan los valores de R^2 y de probabilidad de t, así como la ecuación de regresión por variable en función de LYS. Posteriormente, con la ecuación de

regresión obtenida, se despejó la ecuación, para determinar el valor de LYS que pueda requerirse para obtener el parámetro productivo y de calidad de canal que se pretenda obtener (Apéndice 1).

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Relación entre EN, PC, LYS y comportamiento productivo

Etapa de crecimiento

En el presente estudio se encontró un promedio de 2959 Kcal kg⁻¹ de EN, 14.59% de proteína total y 0.99% de LYS total, lo cual no coincide con las recomendaciones dadas para porcinos en esta misma etapa según NRC (2012) y la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 2013) (Cuadro 5 y Cuadro 6).

Cuadro 5. Estimación del valor de energía neta, proteína cruda y lisina para minimizar ($p < 0.05$) el consumo diario de alimento para cerdos en crecimiento.

Autor	EN ^z	PC ^y	LYS ^x	CDA ^w	PVi ^v	PVf ^u
Martínez et al., 2014	3.265	16.50	0.95	2.26	34.49 ± 1.37	57.82 ± 1.45
Aguinaga, Nieto, Lara y Aguilera, 2017	3.107	11.70	1.04	1.60	30.25 ± 0.07	45.75 ± 0.21
Ruiz et al., 2016	2.340	13.00	0.77	1.96	21.85 ± 0.07	62.15 ± 0.35
Casas, Overholt, Dilger, Boler y Stein, 2018	3.124	17.16	1.20	1.96	28.12 ± 0.18	73.88 ± 0.43

^z Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

^y Proteína cruda (%)

^x Lisina total (%)

^w Consumo diario de alimento (kg cerdo⁻¹)

^v Peso vivo inicial (kg)

^u Peso vivo final (kg)

Del mismo modo no se encontró coincidencia con las recomendaciones brindadas por Rostagno et al. (2017), quienes determinaron niveles de 2430 Kcal kg⁻¹ de energía neta, 15.28% de proteína total y 1.09% de LYS total como niveles óptimos para cerdos en la etapa de crecimiento.

Cuadro 6. Niveles de energía neta, proteína cruda y lisina recomendados por referencias internacionales para cerdos en crecimiento.

Tablas	NRC ^z (2012)	FEDNA ^y (2013)	Rostagno ^x (2017)
Peso (kg)	25 - 50	20 -60	40
Energía Neta (Kcal kg ⁻¹)	2475	2400	2430
Proteína cruda (%)		16.2 - 18	15.28
Lisina total (%)	1.12	1.04	1.09

^zNational Research Council (2012).

^yFundación española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (2013).

^xRostagno et al. (2017).

Respecto a los niveles óptimos encontrados para maximizar GDP para cerdos en crecimiento, se encontraron similitudes con una de las tablas de requerimientos nutricionales de referencia internacional (FEDNA, 2013) en los niveles de LYS de 1.04% (Aguinaga, Nieto, Lara, & Aguilera, 2017) y PC 16.10% (Ruiz, Stoll, Kreuzer, Boillat, Spring, & Bee, 2016), como se puede observar en el Cuadro 6 y Cuadro 7.

Cuadro 7. Estimación del valor de energía neta, proteína cruda y lisina para maximizar ($p < 0.05$) la ganancia diaria de peso para cerdos en crecimiento.

Autor	EN ^z	PC ^y	LYS ^x	GDP ^w	PVi ^v	PVf ^u
Martínez et al., 2014	3.27	16.50	0.95	0.86	34.49 ± 1.37	57.82 ± 1.45
Aguinaga, Nieto, Lara y Aguilera, 2017	3.11	11.70	1.04	0.76	30.25 ± 0.07	45.75 ± 0.21
Ruiz et al., 2016	2.34	16.10	0.97	0.85	21.85 ± 0.07	62.15 ± 0.35
Casas, Overholt, Dilger, Boler y Stein, 2018	3.12	17.16	1.20	0.88	28.12 ± 0.18	73.88 ± 0.43

^z Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

^y Proteína cruda (%)

^x Lisina total (%)

^w Ganancia diaria de peso (kg cerdo⁻¹ día⁻¹)

^v Peso vivo inicial (kg)

^u Peso vivo final (kg)

En cuanto a la optimización de la conversión alimenticia, se encontraron niveles cercanos a 2862 EN (Kcal kg⁻¹), 16.75% PC y 1.14% LYS, los cuales no coinciden con los niveles recomendados por las tablas de NRC (2012) y Rostagno et al. (2017), aunque es preciso considerar que los niveles de PC encontrados por cada uno de los autores analizados se encuentran entre el rango óptimo recomendado por FEDNA (2013).

Cuadro 8. Estimación del valor de energía neta, proteína cruda y lisina para minimizar ($p < 0.05$) la conversión alimenticia de cerdos en crecimiento.

Autor	EN ^z	PC ^y	LYS ^x	CA ^w	PVi ^v	PVf ^u
Martínez et al., 2014	3.27	16.50	1.06	2.63	34.49 ± 1.37	57.82 ± 1.45
Aguinaga, Nieto, Lara y Aguilera, 2017	2.87	16.30	1.24	2.76	30.25 ± 0.07	45.75 ± 0.21
Ruiz et al., 2016	2.34	16.10	0.97	2.19	21.85 ± 0.07	62.15 ± 0.35
Casas, Overholt, Dilger, Boler y Stein, 2018	3.38	18.10	1.30	2.09	28.12 ± 0.18	73.88 ± 0.43

^z Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

^y Proteína cruda (%)

^x Lisina total (%)

^w Conversión alimenticia

^v Peso vivo inicial (kg)

^u Peso vivo final (kg)

Etapa de desarrollo

En la etapa de desarrollo, los autores analizados en el presente estudio determinaron niveles óptimos de PC y LYS (%), cercanos a 15.11 y 0.78, respectivamente, para optimizar CDA; estos niveles no muestran coincidencia con los publicados por las tablas de referencia internacional, donde se recomiendan niveles cercanos a 14% PC y 0.9% LYS (Cuadro 9 y Cuadro 10).

Cuadro 9. Estimación del valor de proteína cruda y lisina para maximizar ($p < 0.05$) el consumo diario de alimento para cerdos en desarrollo.

Autor	PC ^z	LYS ^y	CDA ^x	PVi ^w	PVf ^v	EN ^u
Ruiz et al., 2016	11.30	0.62	3.08	62.05 ± 0.22	102.45 ± 0.34	
Pires et al., 2016	13	0.35	2.46	60.60 ± 1.27	93.45 ± 0.35	3.18
Clarke, Duffy, Rajauria y O'Doherty, 2018	18.58	0.98	2.29	47.50 ± 1.7	105.07 ± 1.57	
Wu, 2010	18.16	1.06	1.36	44.58 ± 1.75	71.04 ± 2.86	
Lanferdini et al., 2013	17.00	0.98	2.78	55.16 ± 0.21	85.90 ± 1.85	
Schiavon et al., 2018.	12.60	0.70	2.83	47.13 ± 0.38	85.63 ± 0.64	3.30

^z Proteína cruda (%)

^y Lisina total (%)

^x Consumo diario de alimento (kg cerdo⁻¹)

^w Peso vivo inicial (kg)

^v Peso vivo final (kg)

^u Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

Cuadro 10. Niveles de energía neta, proteína cruda y lisina recomendados por referencias internacionales para cerdos en desarrollo.

Tablas	NRC ^z (2012)	FEDNA ^y (2013)	Rostagno ^x (2017)
Peso (kg)	50 - 75	60 - 100	60
Energía Neta (Kcal kg ⁻¹)	2475	2400	2470
Proteína cruda (%)		14.8 - 17	13.29
Lisina total (%)	0.97	0.9	0.94

^z National Research Council (2012).

^y Fundación española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (2013).

^x Rostagno et al. (2017).

En cuanto a la mejora de la ganancia diaria de peso se encontró un promedio de 16.16% PC y 0.84% LYS (Cuadro 11), al comparar con los niveles recomendados de referencia (Cuadro 10) se evidencia que no existe coincidencia con ninguna de las 3 tablas en lo que respecta al nivel de lisina, no obstante; el nivel promedio

obtenido entre los autores analizados para PC se ajusta a las recomendaciones brindadas por FEDNA (2013).

Cuadro 11. Estimación del valor de proteína y lisina para maximizar ($p < 0.05$) la ganancia diaria de peso para cerdos en desarrollo.

Autor	PC ^z	LYS ^y	GDP ^x	PVi ^w	PVf ^v	EN ^u
Ruiz et al., 2016	14.10	0.80	1.08	62.05 ± 0.22	102.45 ± 0.34	
Pires et al., 2016	16.00	0.51	0.93	60.60 ± 1.27	93.45 ± 0.35	3.18
Clarke, Duffy, Rajauria y O'Doherty, 2018	18.58	0.98	0.86	47.50 ± 1.7	105.07 ± 1.57	
Wu, 2010	18.16	1.06	0.66	44.58 ± 1.75	71.04 ± 2.86	
Lanferdini et al., 2013	17.51	1.01	1.23	55.16 ± 0.21	85.90 ± 1.85	
Schiavon et al., 2018.	12.60	0.7	0.31	47.13 ± 0.38	85.63 ± 0.64	3.30

^z Proteína cruda (%)

^y Lisina total (%)

^x Ganancia diaria de peso (kg cerdo⁻¹ día⁻¹)

^w Peso vivo inicial (kg)

^v Peso vivo final (kg)

^u Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

Por otra parte, al comparar los niveles encontrados de PC y LYS para optimizar la conversión alimenticia entre los autores analizados y las tablas de referencia para cerdos en desarrollo, se puede afirmar que no existen coincidencias, aunque es conveniente considerar que uno de los autores determina un nivel de %LYS (0.92) bastante cercano a los niveles recomendados en 0.97, 0.9 y 0.94%, por NRC (2012), FEDNA (2013) y Rostagno et al. (2017) respectivamente.

Cuadro 12. Estimación del valor de proteína y lisina para maximizar ($p < 0.05$) la conversión alimenticia para cerdos en desarrollo.

Autor	PC ^z	LYS ^y	CA ^x	PVi ^w	PVf ^v	EN ^u
Ruiz et al., 2016	14.10	0.80	2.56	62.05 ± 0.22	102.45 ± 0.34	
Pires et al., 2016	16.00	0.51	2.59	60.60 ± 1.27	93.45 ± 0.35	3.18
Clarke, Duffy, Rajauria y O'Doherty, 2018	20.84	1.04	2.50	47.50 ± 1.7	105.07 ± 1.57	
Wu, 2010	18.16	1.06	2.06	44.58 ± 1.75	71.04 ± 2.86	
Lanferdini et al., 2013	19.01	1.12	1.87	55.16 ± 0.21	85.90 ± 1.85	
Schiavon et al., 2018.	15.8	0.92	8.08	47.13 ± 0.38	85.63 ± 0.64	3.30

^z Proteína cruda (%)

^y Lisina total (%)

^x Conversión alimenticia

^w Peso vivo inicial (kg)

^v Peso vivo final (kg)

^u Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

Etapa de finalización

En cuanto a los niveles óptimos para mejorar el consumo diario de alimento, se encontró entre los autores analizados niveles cercanos a 3022 EN (Kcal kg⁻¹), 13.62% PC y 0.72% LYS. Al comparar estos con los niveles de las tablas de referencia (Cuadro 14) se encontró coincidencia para LYS entre Casas, Overholt, Dilger, Boler y Stein (2018) y Rostagno et al. (2017) quienes determinan un porcentaje de LYS de 0.77%, del mismo modo se encontraron similitudes entre este autor Ruiz et al. (2016), para el porcentaje de PC cercana al 10%.

Cuadro 13. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para maximizar ($p < 0.05$) el consumo diario de alimento para cerdos en finalización.

Autor	EN ^z	PC ^y	LYS ^x	CDA ^w	PVi ^v	PVf ^u
Ruiz et al., 2016	2.34	10.40	0.59	3.85	102.98 ± 0.57	141.02 ± 1.86
Moran, Morlacchini, Keegan y Fusconi, 2018	2.70	16.63	1.08	3.41	117.10 ± 0.69	140.75 ± 0.52
Casas, Overholt, Dilger, Boler y Stein, 2018	3.03	13.85	0.77	3.71	92.81 ± 0.88	119.53 ± 1.40
Schiavon et al., 2018	3.20	15.80	0.92	2.84	85.63 ± 0.64	143.50 ± 3.15
Suárez, Sanz, Guada y Latorre, 2016	3.20	15.26	0.79	3.47	80.00 ± 0.00	119.95 ± 6.29
Fracaroli et al., 2017	3.35	11.41	0.44	2.90	100.36 ± 0.71	131.32 ± 0.42
Cline, Tsai, Stelzleni, Dove y Azain, 2015	3.05	12.56	0.55	3.77	85.10 ± 0.31	116.92 ± 3.08
Tartrakoon, Tartrakoon y Kitsupee, 2016	3.31	13.05	0.62	2.77	80.03 ± 0.03	101.46 ± 0.10

^z Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

^y Proteína cruda (%)

^x Lisina total (%)

^w Consumo diario de alimento (kg cerdo⁻¹)

^v Peso vivo inicial (kg)

^u Peso vivo final (kg)

Cuadro 14. Niveles de energía, proteína y lisina recomendados por referencias internacionales para cerdos en finalización.

Tablas	NRC ^z (2012)	FEDNA ^y (2013)	Rostagno ^x (2017)
Peso (kg)	75 - 100	≥ 100	98.5
Energía Neta (Kcal kg ⁻¹)	2475	2400	2500
Proteína cruda (%)		13.2 – 15.1	10.72
Lisina total (%)	0.84	0.75	0.77

^z National Research Council (2012).

^y Fundación española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (2013).

^x Rostagno et al. (2017).

En cuanto a los niveles óptimos de EN, PC y LYS, para maximizar la ganancia diaria de peso en finalización y los niveles publicados por tablas de referencia, únicamente se encontraron dos semejanzas relacionadas con PC y LYS para dos de los autores analizados, en tanto que Ruiz et al. (2016) y Rostagno et al. (2017) determinan porcentajes óptimos de PC en 10.4 y 10.72% respectivamente, del mismo modo Casas et al. (2018) y NRC (2012) presentan similitud entre sus niveles óptimos para el porcentaje de LYS calculados en 0.85 y 0.84 correspondientemente (Cuadro 14 y Cuadro 15).

Cuadro 15. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para maximizar ($p < 0.05$) la ganancia diaria de peso para cerdos en finalización.

Autor	EN ^z	PC ^y	LYS ^x	GDP ^w	PVi ^v	PVf ^u
Ruiz et al., 2016	2.34	10.40	0.59	1.22	102.98 ± 0.57	141.02 ± 1.86
Moran, Morlacchini, Keegan y Fusconi, 2018	2.71	16.60	1.07	0.85	117.10 ± 0.69	140.75 ± 0.52
Casas, Overholt, Dilger, Boler y Stein, 2018	3.34	14.37	0.85	1.03	92.81 ± 0.88	119.53 ± 1.40
Schiavon et al., 2018	3.18	12.60	0.70	0.89	85.63 ± 0.64	143.50 ± 3.15
Suárez, Sanz, Guada y Latorre, 2016	3.20	15.26	0.79	1.07	80.00 ± 0.00	119.95 ± 6.29
Fracaroli et al., 2017	3.35	11.41	11.41	0.99	100.36 ± 0.71	131.32 ± 0.42
Cline, Tsai, Stelzleni, Dove y Azain, 2015	3.66	14.14	0.65	1.29	85.10 ± 0.31	116.92 ± 3.08
Tartrakoon, Tartrakoon y Kitsupee, 2016	3.32	13.05	0.62	0.81	80.03 ± 0.03	101.46 ± 0.10

^z Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

^y Proteína cruda (%)

^x Lisina total (%)

^w Ganancia diaria de peso (kg cerdo⁻¹ día⁻¹)

^v Peso vivo inicial (kg)

^u Peso vivo final (kg)

Entre los niveles recomendados por las tablas de referencia internacional (FEDNA, 2013; NRC,2012; Rostagno et al., 2017) y los determinados por los autores analizados en el presente estudio, solo se encontraron semejanzas para porcentaje de LYS para optimizar la CA; entre los valores obtenidos por Suárez, Sanz, Guada y Latorre (2016), FEDNA (2013) y NRC (2012) quienes determinan un nivel óptimo para lisina de 0.79, 0.75 y 0.77% respectivamente (Cuadro 14 y Cuadro 16).

Cuadro 16. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para maximizar ($p < 0.05$) la conversión alimenticia para cerdos en finalización.

Autor	EN ^z	PC ^y	LYS ^x	CA ^w	PVi ^v	PVf ^u
Ruiz et al., 2016	2.34	10.40	0.59	3.16	102.98 ± 0.57	141.02 ± 1.86
Moran, Morlacchini, Keegan y Fusconi, 2018	2.71	16.60	1.07	4.00	117.10 ± 0.69	140.75 ± 0.52
Casas, Overholt, Dilger, Boler y Stein, 2018	3.34	14.37	0.85	3.14	92.81 ± 0.88	119.53 ± 1.40
Schiavon et al., 2018	3.20	14.30	0.84	3.18	85.63 ± 0.64	143.50 ± 3.15
Suárez, Sanz, Guada y Latorre, 2016	3.20	15.26	0.79	3.24	80.00 ± 0.00	119.95 ± 6.29
Fracaroli et al., 2017	2.96	11.70	0.43	2.87	100.36 ± 0.71	131.32 ± 0.42
Cline, Tsai, Stelzleni, Dove y Azain, 2015	3.66	14.14	0.65	2.78	85.10 ± 0.31	116.92 ± 3.08
Tartrakoon, Tartrakoon y Kitsupee, 2016	3.32	13.05	0.62	3.26	80.03 ± 0.03	101.46 ± 0.10

^z Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

^y Proteína cruda (%)

^x Lisina total (%)

^w Conversión alimenticia

^v Peso vivo inicial (kg)

^u Peso vivo final (kg)

3.5.2 Relación entre EN, PC, LYS y la calidad de la canal

Etapa de crecimiento

Respecto, a los niveles recomendados de EN para minimizar el contenido de grasa dorsal entre los autores analizados en el presente estudio y los valores de referencia de tablas internacionales no se encontró semejanza.

Sólo se encontró similitud para el porcentaje de LYS entre Martínez et al. (2014), FEDNA (2013) y Rostagno et al. (2017) quienes recomiendan niveles de 1.06, 1.04 y 1.09% respectivamente (Cuadro 6 y Cuadro 17).

Cuadro 17. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para minimizar ($p < 0.05$) el contenido de grasa dorsal para cerdos en crecimiento.

Autor	EN ^z	PC ^y	LYS ^x	GD ^w	PVi ^v	PVf ^u
Martínez et al., 2014	3.27	16.50	1.06	6.87	34.49 ± 1.37	57.82 ± 1.45

^z Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

^y Proteína cruda (%)

^x Lisina total (%)

^w Grasa dorsal (mm)

^v Peso vivo inicial (kg)

^u Peso vivo final (kg)

Para maximizar el MLD, Martínez et al. (2014) estimaron un porcentaje óptimo de LYS en la fase de crecimiento de 1.06 semejante al encontrado por Rostagno et al. (2017) quienes recomiendan un porcentaje de 1.09, en lo que respecta a los niveles de PC y EN no se encontraron semejanzas entre el autor analizado y los valores de referencia de las tablas internacionales (Cuadro 6 y Cuadro 18).

Cuadro 18. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para maximizar ($p < 0.05$) el ojo de chuleta para cerdos en crecimiento.

Autor	EN ^z	PC ^y	LYS ^x	MLD ^w	PVi ^v	PVf ^u
Martínez et al., 2014	3.27	16.50	1.06	25.95	34.49 ± 1.37	57.82 ± 1.45

^z Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

^y Proteína cruda (%)

^x Lisina total (%)

^w Ojo de chuleta (mm)

^v Peso vivo inicial (kg)

^u Peso vivo final (kg)

Etapa de desarrollo

En cuanto a los hallazgos obtenidos concernientes a los porcentajes de PC y LYS para minimizar la grasa dorsal de los cerdos en desarrollo no se encontró ninguna similitud con los valores recomendados por las tablas de referencia internacionales (Cuadro 10 y Cuadro 19).

Cuadro 19. Estimación del valor de proteína y lisina para minimizar ($p < 0.05$) la grasa dorsal para cerdos en desarrollo.

Autor	PC ^z	LYS ^y	GD ^x	PVi ^w	PVf ^v	EN ^u
Pires et al., 2016	13.00	0.35	19.50	60.60 ± 1.27	93.45 ± 0.35	3.18
Clarke, Duffy, Rajauria, y O'Doherty, 2018.	17.51	1.01	12.75	47.50 ± 0.00	105.07 ± 1.57	
Wu, 2010.	18.16	1.06	14.08	44.58 ± 1.75	71.04 ± 2.86	
Lanferdini et al., 2013	17.85	1.03	17.20	55.16 ± 0.21	85.90 ± 1.85	3.30
Schiavon et al., 2018.	12.60	0.70	19.10	47.13 ± 0.38	85.63 ± 0.64	

^z Proteína cruda (%)

^y Lisina total (%)

^x Grasa dorsal (mm)

^w Peso vivo inicial (kg)

^v Peso vivo final (kg)

^u Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

Según Lanferdini et al. (2013) el nivel óptimo del porcentaje de LYS para maximizar el MLD en cerdos en desarrollo debe ser 0.98%, esto coincide con los valores recomendados por NRC (2012) y Rostagno et al. (2017) quienes recomiendan 0.94 y 0.97 respectivamente (Cuadro 10), no obstante, es conveniente indicar que de todos los estudios analizados apenas uno muestra una coincidencia con los niveles recomendados por tablas de referencia y que esa coincidencia solo se basa en uno de los ítems analizados.

Por otro lado, se encontró un efecto alto de la LYS sobre la maximización del MLD en cerdos en etapa de desarrollo, para los tres modelos analizados. (Cuadro 20).

Cuadro 20. Estimación del valor de proteína y lisina para optimizar ($p < 0.05$) el ojo de chuleta para cerdos en desarrollo.

Autor	PC ^z	LYS ^y	MLD ^x	PVi ^w	PVf ^v	EN ^u
Clarke, Duffy, Rajauria y O'Doherty, 2018.	17.51	1.01	56.64	47.50 ± 0.00	105.07 ± 1.57	
Wu, 2010.	18.16	1.06	34.14	44.58 ± 1.75	71.04 ± 2.86	
Katsumata, Kyoya, Ishida, Ohtsuka y Nakashima, 2012	9.80	6.40	42.90	58.00 ± 0.82	111.25 ± 1.89	
Lanferdini et al., 2013	17.00	0.98	65.70	55.16 ± 0.21	85.90 ± 1.85	3.30

^z Proteína cruda (%)

^y Lisina total (%)

^x Ojo de chuleta (mm)

^w Peso vivo inicial (kg)

^v Peso vivo final (kg)

^u Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

Etapa de finalización

Al comparar los niveles de EN, PC y LYS recomendados en tablas de referencia con los niveles determinados por los autores analizados en el presente estudio para minimizar la grasa dorsal en la etapa de finalización, se puede inferir que no existe semejanza entre los niveles concernientes a EN y PC; por el contrario, se

encontró semejanza para el porcentaje de LYS entre Casas et al. (2018) y NRC (2012) con un porcentaje de 0.85 y 0.84 respectivamente (Cuadro 14 y Cuadro 21)

Sin embargo, es importante considerar que esta coincidencia apenas fue en uno de todos los estudios analizados y en un solo aspecto de la evaluación.

Cuadro 21. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para minimizar ($p < 0.05$) la grasa dorsal para cerdos en finalización.

Autor	EN ^z	PC ^y	LYS ^x	GD ^w	PVi ^v	PVf ^u
Moran, Morlacchini, Keegan y Fusconi, 2018	2.34	16.63	1.08	30.31	117.10 ± 0.69	140.75 ± 0.52
Casas, Overholt, Dilger, Boler y Stein, 2018	3.34	14.37	0.85	14.70	92.81 ± 0.88	119.53 ± 1.40
Schiavon et al., 2018	3.18	15.50	0.86	18.90	85.63 ± 0.64	143.50 ± 3.15
Suárez, Sanz, Guada y Latorre, 2016	3.20	15.26	0.79	15.20	80.00 ± 0.00	119.95 ± 6.29
Fracaroli et al., 2017	2.96	11.70	0.43	22.46	100.36 ± 0.71	131.32 ± 0.42
Cline, Tsai, Stelzleni, Dove y Azain, 2015	2.78	11.33	0.50	23.60	85.10 ± 0.31	116.92 ± 3.08
Tartrakoon, Tartrakoon y Kitsupee, 2016	3.32	13.05	0.62	25.40	80.03 ± 0.03	101.46 ± 0.10

^z Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

^y Proteína cruda (%)

^x Lisina total (%)

^w Grasa dorsal (mm)

^v Peso vivo inicial (kg)

^u Peso vivo final (kg)

Algo similar sucede con los niveles de LYS para optimizar el ojo de la chuleta en etapa de finalización, solo dos de los estudios analizados muestran semejanzas con los valores recomendados por NRC (2012), el cual determina un porcentaje de 0.84; a su vez, Schiavon, Bona, Carcò, Carraro, Bunger y Gallo (2018),

determinaron 0.84% y Casas et al. (2018) encuentran 0.85% (Cuadro 14 y Cuadro 22).

Cuadro 22. Estimación del valor de energía, proteína y lisina para optimizar ($p < 0.05$) el ojo de chuleta para cerdos en finalización.

Autor	EN ^z	PC ^y	LYS ^x	MLD ^w	PVi ^v	PVf ^u
Moran, Morlacchini, Keegan y Fusconi, 2018	2.34	16.63	1.08	51.86	117.10 ± 0.69	140.75 ± 0.52
Casas, Overholt, Dilger, Boler y Stein, 2018	3.34	14.37	0.85	56.39	92.81 ± 0.88	119.53 ± 1.40
Schiavon et al., 2018	3.20	14.30	0.84	65.20	85.63 ± 0.64	143.50 ± 3.15
Fracaroli et al., 2017	3.35	11.41	0.44	70.13	100.36 ± 0.71	131.32 ± 0.42
Cline, Tsai, Stelzleni, Dove y Azain, 2015	3.86	14.59	0.70	33.71	85.10 ± 0.31	116.92 ± 3.08

^z Energía Neta (Kcal kg⁻¹)

^y Proteína cruda (%)

^x Lisina total (%)

^w Ojo de chuleta (mm)

^v Peso vivo inicial (kg)

^u Peso vivo final (kg)

3.5.3 Estimación de variables de comportamiento productivo como respuesta a niveles dietéticos de LYS

Al analizar la variable de comportamiento productivo relacionada con el CDA, se encontró que el coeficiente de determinación calculado predice con muy baja exactitud la respuesta de este consumo a diferentes niveles dietéticos de LYS. En tanto; que para los tres modelos analizados (lineal, cuadrático y cúbico) el coeficiente de determinación se encuentra cercano al 40% (**Cuadro 23, Cuadro 24 y Cuadro 25**).

Este hallazgo coincide con Kim, Ingale, Kim, Kim y Chae, (2011), quienes establecieron que los niveles de LYS no afectan el consumo de alimento.

Adicionalmente, Smith et al. (1999), observaron un decremento en el CDA conforme se incrementó el nivel de LYS en la ración.

Cuadro 23. Estimación del consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo lineal.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ^z	0.41	<.0001

^zLisina total

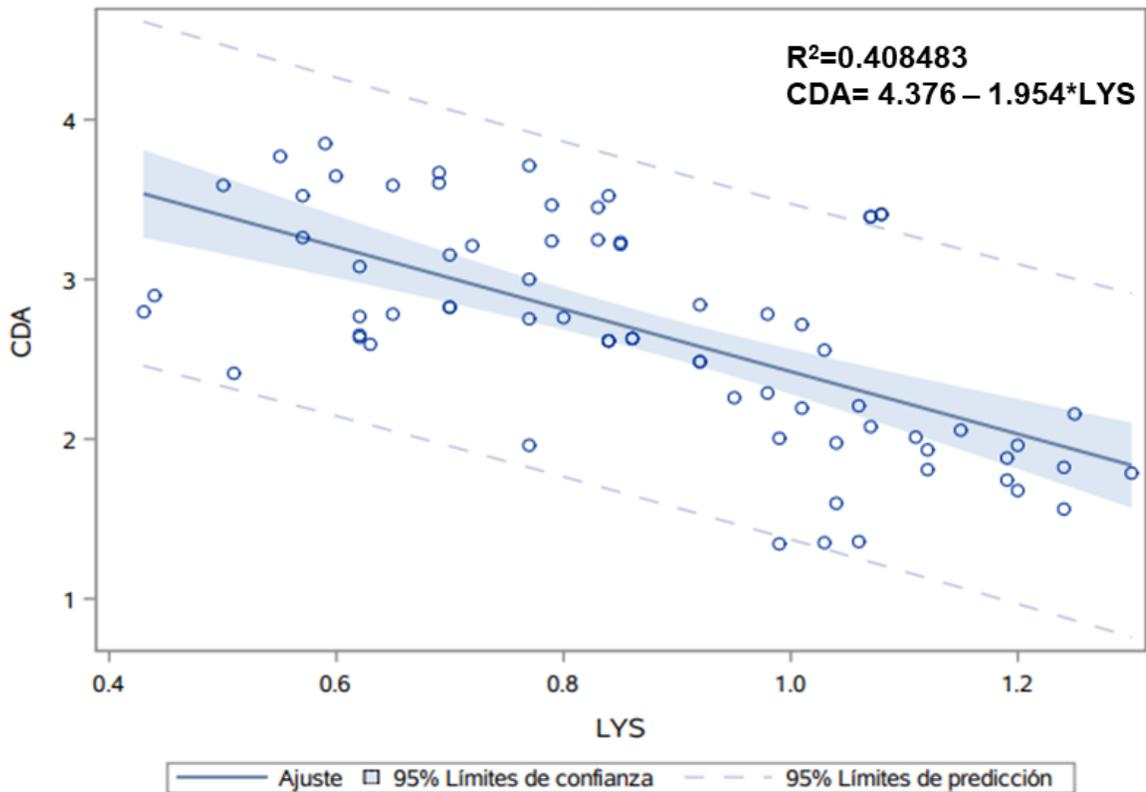


Figura 1. Gráfico de estimación de consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo de regresión lineal.

Cuadro 24. Estimación del consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cuadrático.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS	0.44	0.3432
LYS * LYS		0.0639

^zLisina total

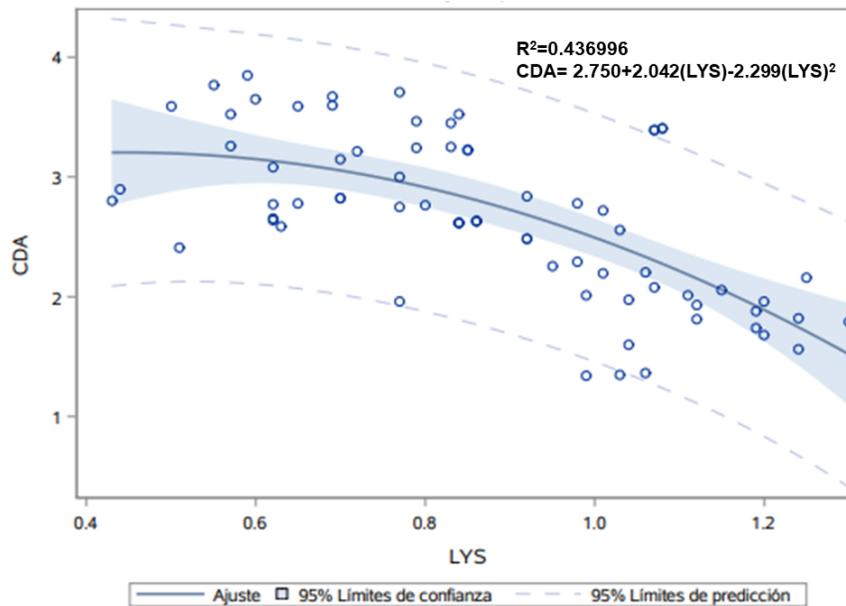


Figura 2. Gráfico de estimación de consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cuadrático.

Cuadro 25. Estimación del consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cúbico.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ^z	0.45	0.1158
LYS * LYS		0.1135
LYS ^z * LYS * LYS		0.1561

^zLisina total

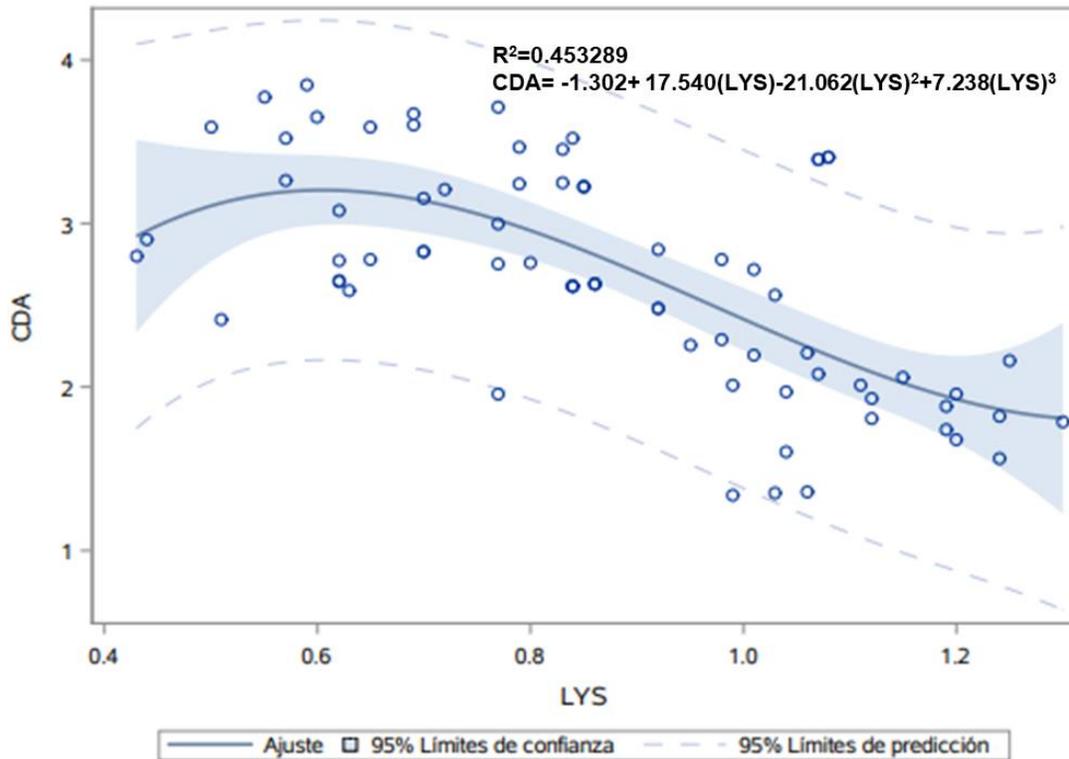


Figura 3. Gráfico de estimación de consumo diario de alimento como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cúbico.

Respecto a GDP los coeficientes de determinación calculados en 0.41, 0.55 y 0.59 para los tres modelos respectivamente (**Cuadro 26**, **Cuadro 27** y **Cuadro 28**), demuestran una respuesta de muy baja exactitud a niveles dietéticos de LYS. Este resultado coincide con los publicados por Katsumata et al. (2012), quienes encontraron que la GDP no fue afectada por los niveles de LYS en las dietas evaluadas.

Cuadro 26. Estimación de ganancia diaria de peso como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo lineal.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ²	0.41	0.0017

²Lisina total

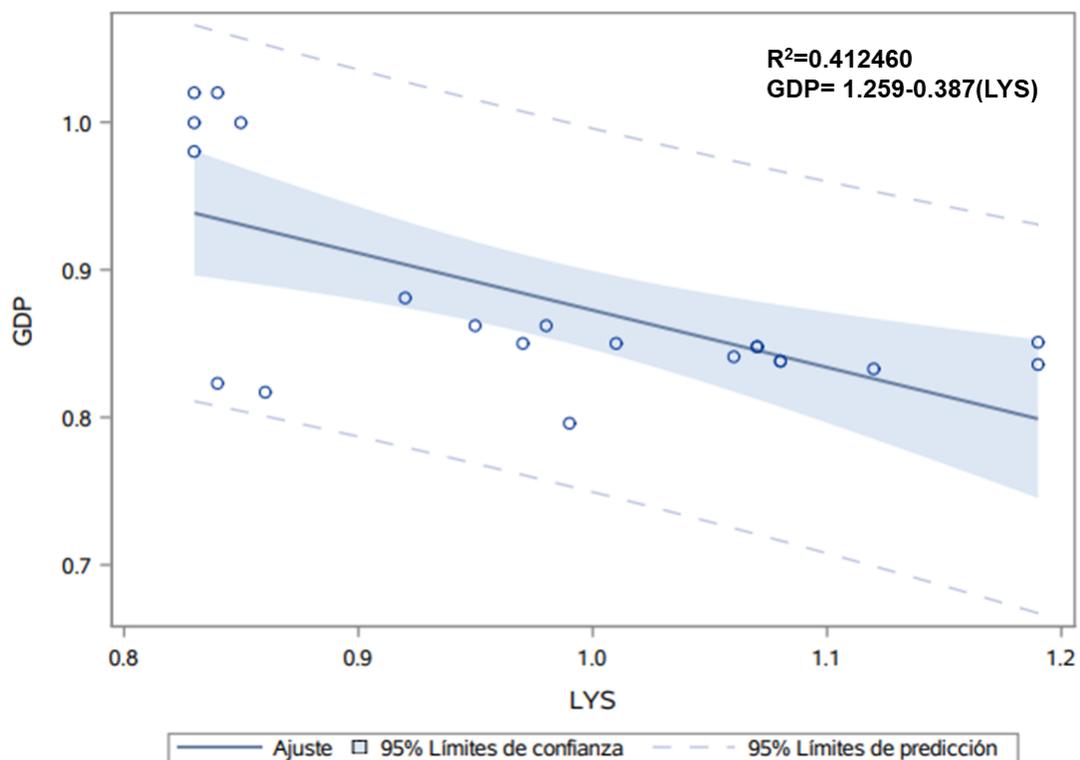


Figura 4. Gráfico de estimación de ganancia diaria de peso como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo lineal.

Cuadro 27. Estimación de ganancia diaria de peso como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cuadrático.

Parámetro	R^2	Pr > t
LYS ^z	0.56	0.0161
LYS * LYS		0.0251

^zLisina total

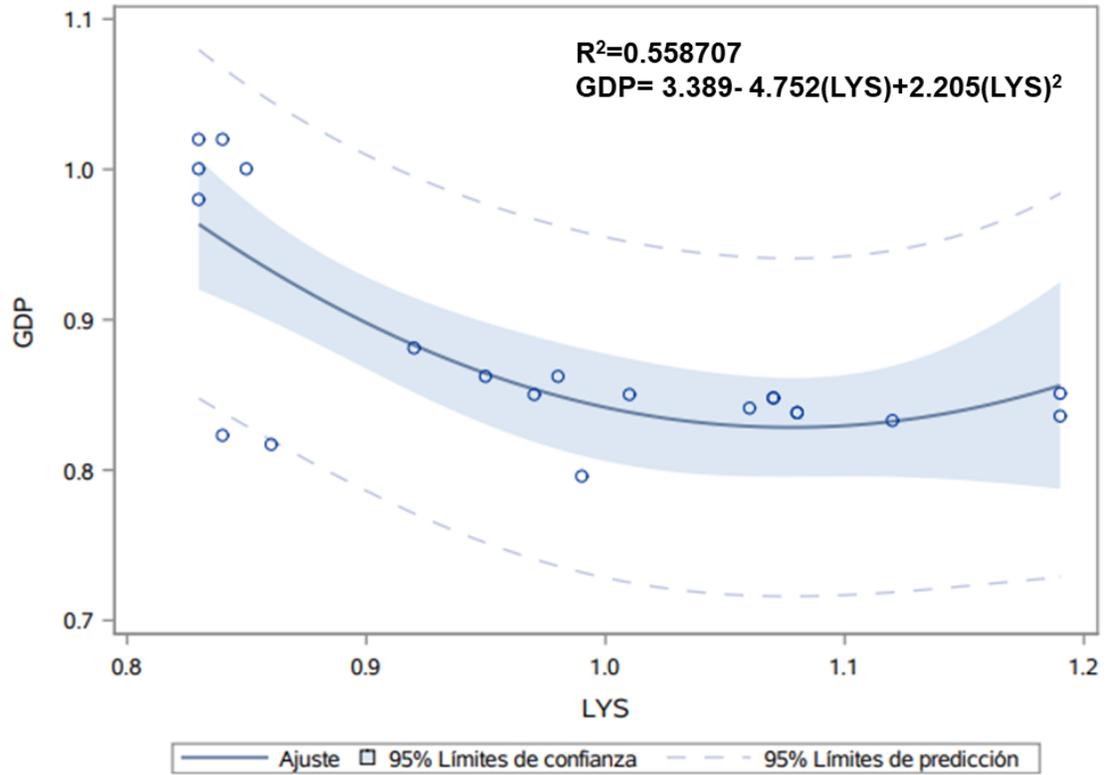


Figura 5. Gráfico de estimación de ganancia diaria de peso por lisina como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cuadrático.

Cuadro 28. Estimación de ganancia diaria de peso como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cúbico.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ^z	0.59	0.1879
LYS * LYS		0.2137
LYS * LYS * LYS		0.2386

^zLisina total

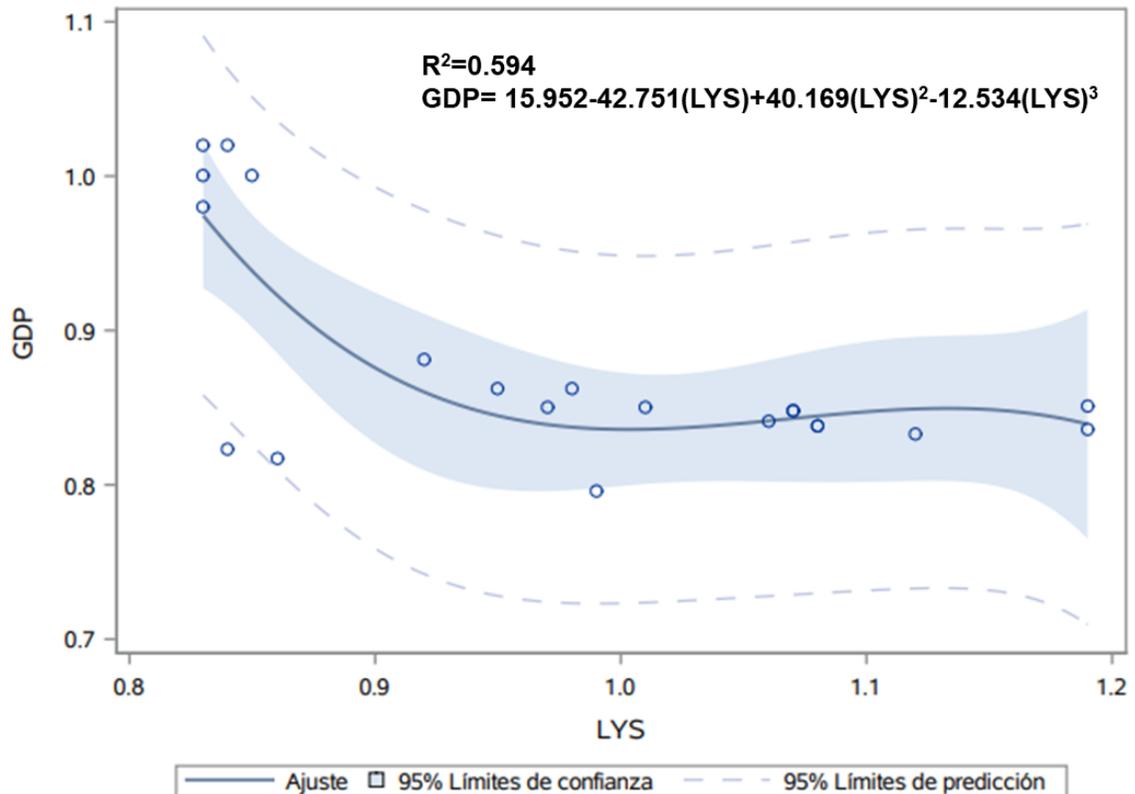


Figura 6. Gráfico de estimación de ganancia diaria de peso como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cúbico.

El CA, la última variable de respuesta de comportamiento productivo por analizar en el presente estudio; presentó un coeficiente de determinación cercano al 80% en el modelo cuadrático y un valor de 88% en el modelo cúbico (Cuadro 30 y Cuadro 31).

Por lo cual; se puede inferir que el coeficiente de determinación calculado en el modelo cúbico predice con alta exactitud la respuesta de CA a diferentes niveles dietéticos de LYS. Esto coincide con los resultados obtenidos por Kim et al., (2011), donde se menciona que incrementar los niveles dietéticos de LYS mejora la CA.

Cuadro 29. Estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo lineal.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ^z	0.52	0.0421

^zLisina total

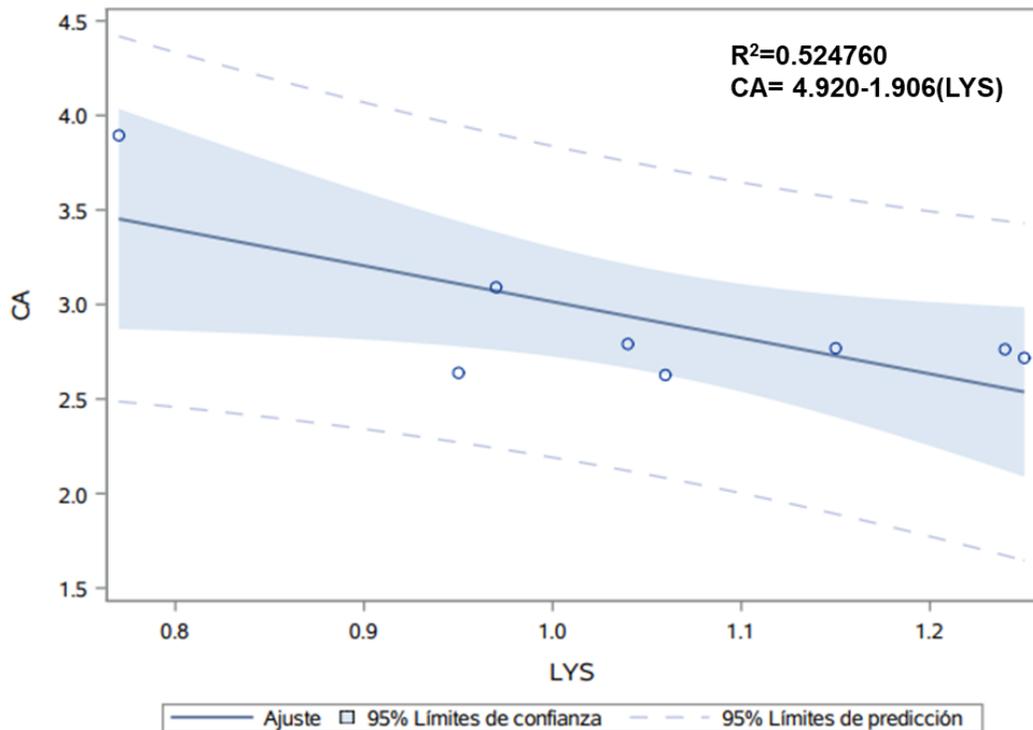


Figura 7. Gráfico de estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo lineal.

Cuadro 30. Estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cuadrático.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ^z	0.86	0.0116
LYS * LYS		0.0165

^zLisina total

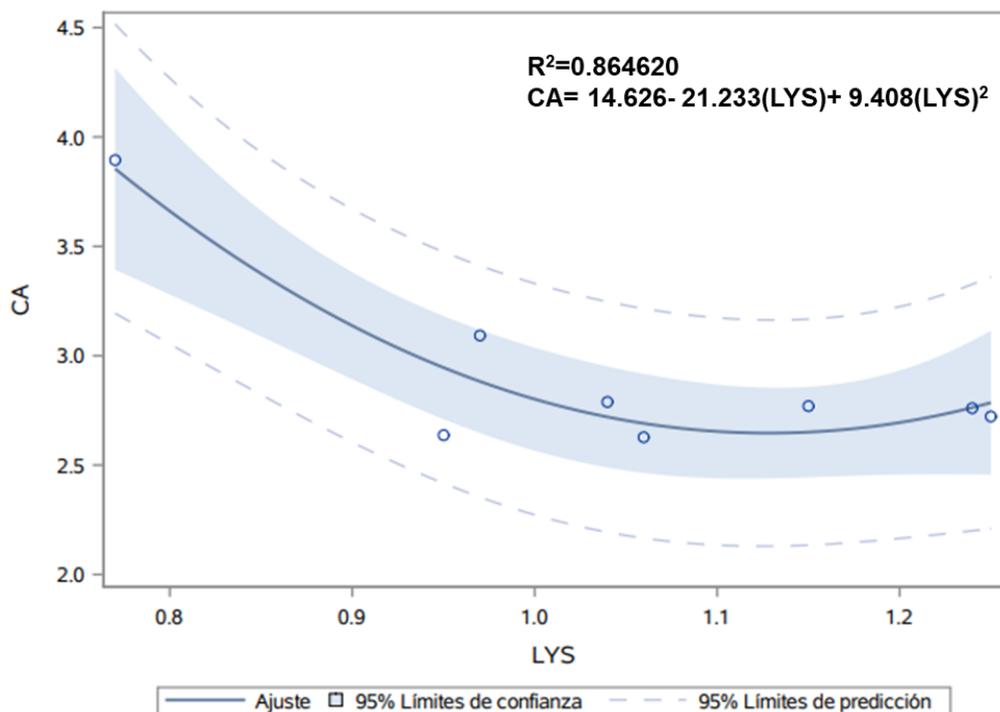


Figura 8. Gráfico de estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cuadrático.

Cuadro 31. Estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cúbico.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ^z	0.89	0.3173
LYS * LYS		0.3715
LYS * LYS * LYS		0.4203

^zLisina total

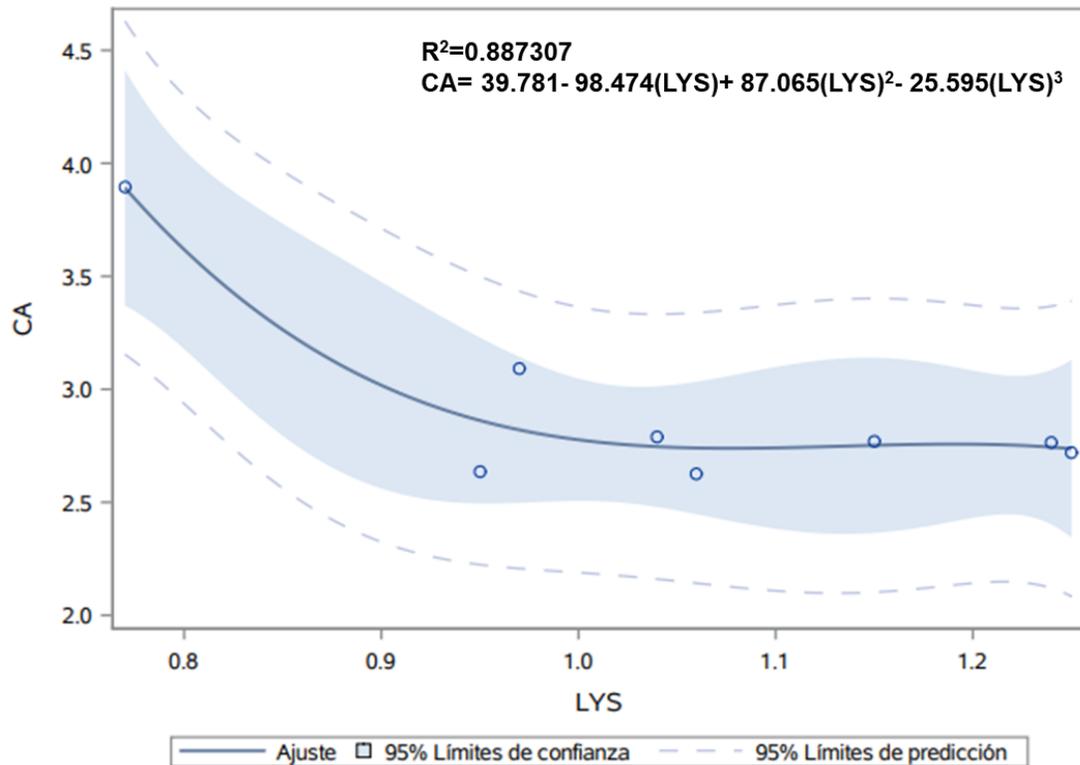


Figura 9. Gráfico de estimación de conversión alimenticia como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cúbico.

En resumen, no se encontraron efectos de la LYS en las variables de comportamiento productivo (CDA y GDP), en ninguno de los tres modelos estudiados, lo cual coincide con Calderón et al. (2015), quienes establecieron que el desempeño productivo (CA y GDP) en cerdos no fue alterado cuando suministraron dietas con diferentes niveles de LYS. Del mismo modo, Gutiérrez et al. (2016) concluyeron que CDA y, GDP no fueron afectadas al incrementar la concentración de LYS de 0.83 a 0.93%.

No obstante, se encontró que para CA en el modelo cúbico; el coeficiente de determinación predice con alta exactitud la respuesta de CA a niveles dietéticos de LYS.

3.5.4 Análisis de regresión para las variables de calidad de la canal como respuesta a niveles dietéticos de LYS

En el presente estudio se encontró efecto entre LYS y la reducción de GD en el modelo lineal, tal como se muestra en el Cuadro 32.

Cuadro 32. Estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo lineal.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ^z	0.11	0.2336

^zLisina total

Por tanto, el coeficiente de determinación calculado predice con baja exactitud la respuesta en GD a inclusiones diferentes de lisina en la dieta de los cerdos.

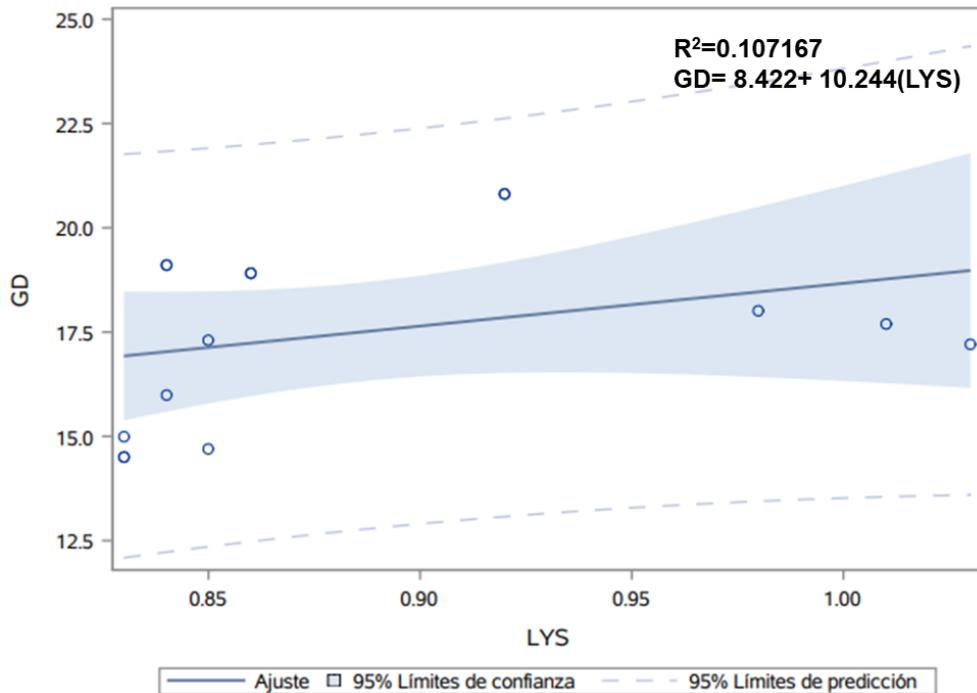


Figura 10. Gráfico de estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo lineal.

Cuadro 33. Estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cuadrático.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ²	0.57	0.0035
LYS * LYS		0.0038

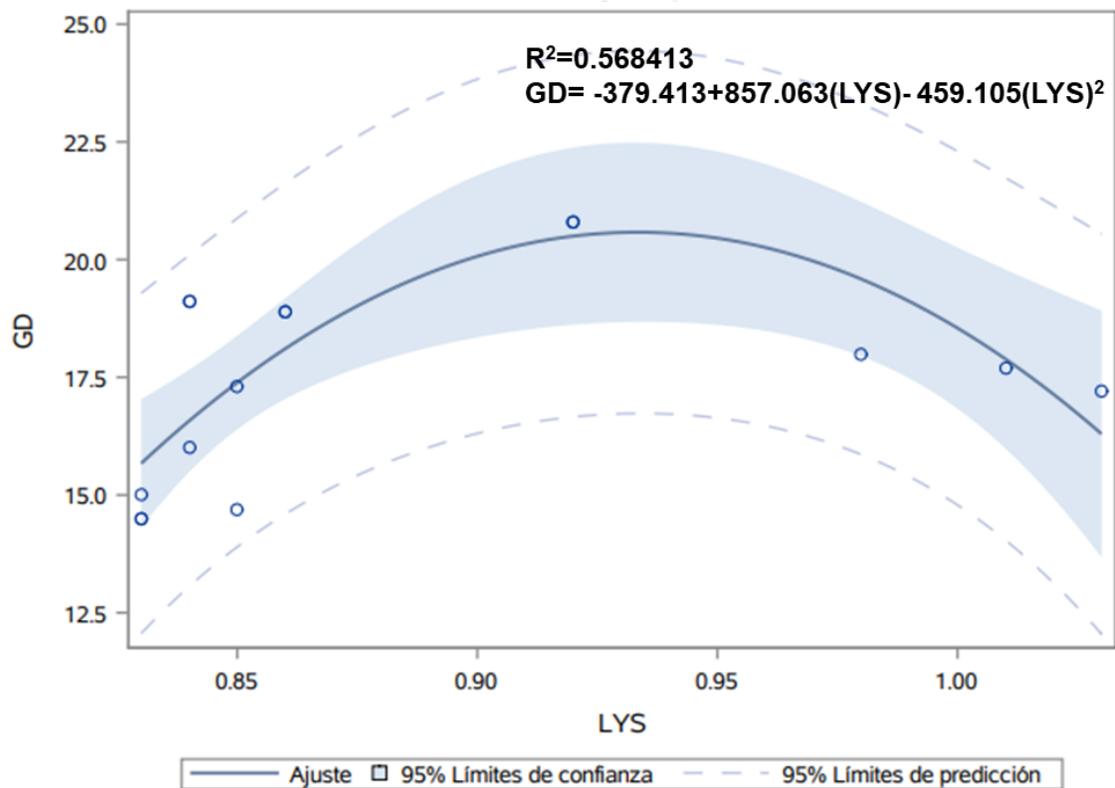


Figura 11. Gráfico de estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cuadrático.

Cuadro 34. Estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cúbico.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ^z	0.63	0.1559
LYS * LYS		0.1736
LYS * LYS * LYS		0.1926

^z Lisina total

No obstante, se encontró un coeficiente de determinación en el modelo cúbico de 0.63, el cual fue mas alto al comprarar con los modelos cuadrático y lineal, denotando una respuesta entre LYS y GD.

Para el caso de MLD se evidenciaron coeficientes de determinación de 0.56 y 0.59 en los modelos cuadrático y cúbico, respectivamente (Cuadro 36 y Cuadro 37).

Por tanto, el 59% de las respuesta en la optimización de MLD se debe a los diferentes niveles dieteticos de LYS.

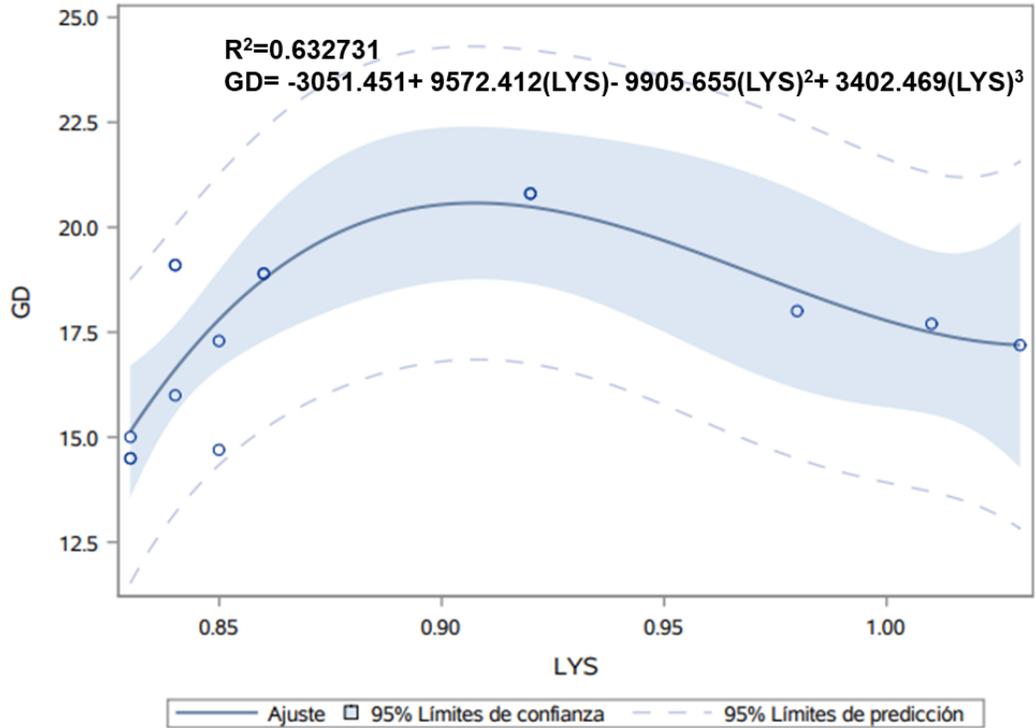


Figura 12. Gráfico de estimación de grasa dorsal como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cúbico.

Cuadro 35. Estimación del ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo lineal.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ^z	0.01	0.7631

^zLisina total

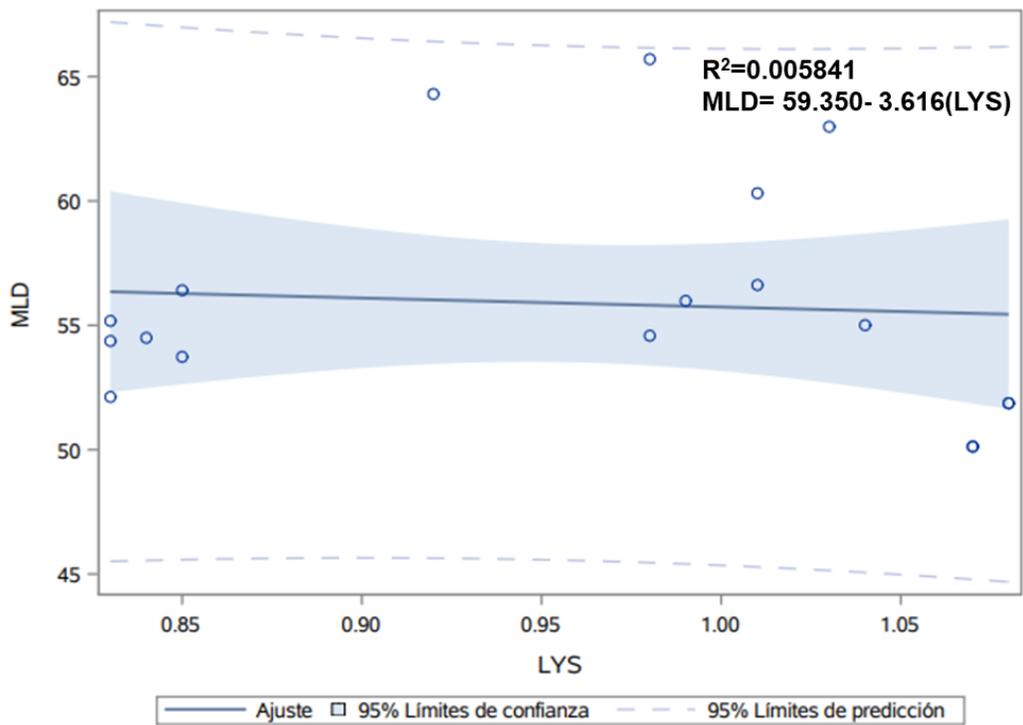


Figura 13. Gráfico de estimación de ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo lineal.

Cuadro 36. Estimación del ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cuadrático.

Parámetro	R^2	Pr > t
LYS^2	0.57	0.0005
$LYS * LYS$		0.0005

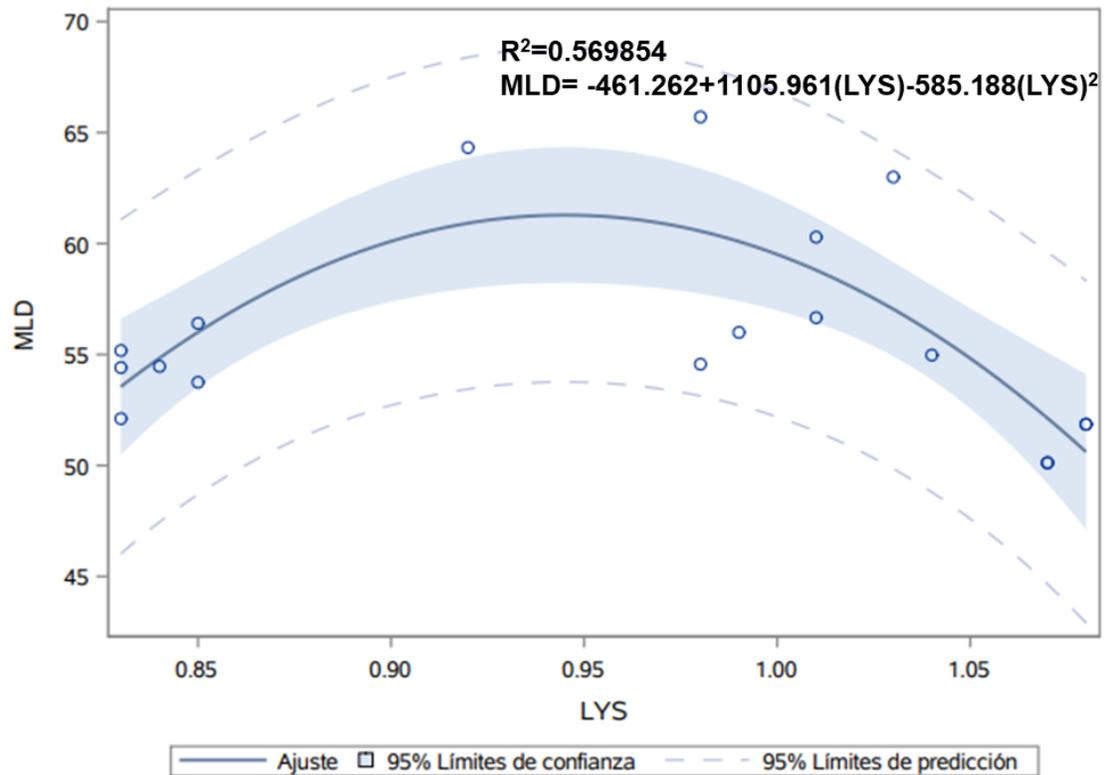


Figura 14. Gráfico de estimación de ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cuadrático.

Cuadro 37 Estimación del ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina con modelo cúbico.

Parámetro	R ²	Pr > t
LYS ^z	0.57	0.7175
LYS * LYS		0.7730
LYS * LYS * LYS		0.8316

^zLisina total

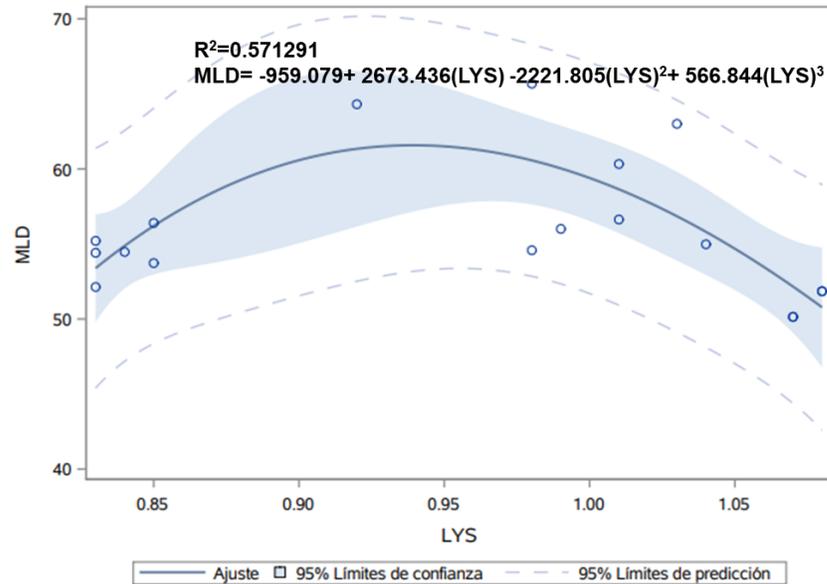


Figura 15. Gráfico de estimación de ojo de chuleta como respuesta al nivel dietético de lisina. Modelo de regresión con modelo cúbico.

Finalmente, al realizar la comparación entre el referente internacional, la estimación de un experimento analizado y las estimaciones obtenidas en los modelos de regresión del presente estudio para los diferentes niveles de lisina en variables de respuesta en comportamiento productivo en etapa de crecimiento, se observó que no existe coincidencia entre los tres métodos.

Cuadro 38. Comparación niveles dietéticos de lisina en variables de respuesta de comportamiento productivo para cerdos en crecimiento.

Variable de respuesta	NRC ^z	Exp ^y	Estimación en modelo de regresión		
			Lineal	Cuadrático	Cúbico
CDA ^x	1.12	0.95	0.41	0.44	0.45
GDP ^w	1.12	0.95	0.41	0.56	0.59
CA ^v	1.12	1.06	0.52	0.86	0.89

^zNational Research Council (2012).
^yExperimento Martínez et al. (2014).
^xConsumo diario de alimento.
^wGanancia diaria de peso.
^vConversión alimenticia.

3.6 Conclusiones

En lo que concierne a lisina dietética se concluye que:

Los niveles estimados de lisina con modelos de regresión no presentaron coincidencia con los niveles recomendados por tablas de referencia internacional, ni con niveles determinados en experimentos.

La estimación de conversión alimenticia y grasa dorsal, a partir de lisina dietética, mostró que la lisina predice y explica dichas variables.

Los coeficientes de determinación que se obtuvieron entre lisina y las variables de respuesta consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso y ojo de chuleta fueron bajos, por lo que no predicen en gran medida la relación entre estas tres variables con dicho nutrimento.

En lo que concierne a energía neta y proteína cruda se concluye que:

Los niveles determinados de energía neta y de proteína cruda obtenidos en experimentos de diferentes autores, no coinciden en su mayoría con los niveles recomendados por las tablas de referencia internacional.

3.7 Literatura citada

- Aguinaga, M., Nieto, R., Lara, L., & Aguilera, J. (2017). Effects of dietary protein-to-energy ratio on rate of growth, protein deposition and tissue composition of pure Iberian boars prior to extensive production. *Journal of Animal Science*, 95(2), 855-865.
- Apple, J., Maxwell, C., Brown, D., Friesen, K., Musser, R., Johnson, Z., & Armstrong, T. (2004). Effects of dietary lysine and energy density on performance and carcass characteristics of finishing pigs fed ractopamine. *Journal of Animal Science*, 82(11), 3277-3287.
- Bikker, P., Verstegen, M., Campbell, R., & Kemp, B. (1994). Digestible lysine requirement of gilts with high genetic potential for lean gain, in relation to the level of energy intake. *Journal of Animal Science*, 72(7), 1744-1753.
- Calderón, J., Vallet, J., Lents, C., Nonneman, D., Miles, J., Wright, E., ... & Phillips, C. (2015). Performance of gilts fed two lysine and three metabolizable energy concentrations from 100 to 260 d of age. *Journal of Animal Science*, 93(7), 3521-3527.
- Campbell, R., & Taverner, M. (1988). Genotype and sex effects on the relationship between energy intake and protein deposition in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 66(3), 676-686.
- Casas, G., Overholt, M., Dilger, A., Boler, D., & Stein, H. (2018). Effects of full fat rice bran and defatted rice bran on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Journal of Animal science*, 96(6), 2293-2309.
- *Clarke, L., Duffy, S., Rajauria, G., & O'Doherty, J. (2018). Growth performance, nutrient digestibility and carcass characteristics of finisher pigs offered either a by-product or cereal based diet at two different concentrations of net energy. *Animal Feed Science and Technology*. 242, 77-85.
- *Cline, P., Tsai, T., Stelzleni, A., Dove, C., & Azain, M. (2016). Interaction of dietary energy and protein on growth performance, carcass characteristics and digestibility in finishing barrows when fed at a constant digestible lysine to metabolizable energy ratio. *Livestock Science*, 184, 1-6.
- *Echeverry, J., Gómez, A., & Parra, J. (2008). Efectos de un B-adrenérgico comercial y varios niveles de lisina sobre la ganancia de peso de cerdos en finalización. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(1), 45-50.
- FEDNA. (2013). Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal. Necesidades nutricionales para ganado porcino, Madrid. España.

- *Figuerola, J., Cervantes, M., Cuca, J., & Méndez, M. (2004). Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia*, 38(4), 383-394.
- *Fracaroli, C., Perondi, D., dos Santos, L., da Silva, W., Veira, A., & Hauschild, L. (2017). Net energy levels of reduced crude protein, amino acid-supplemented diets for heavy pigs. *Livestock Science*, 205, 43-49.
- Gutiérrez, S., Figuerola, J., Sánchez, M., Hernández, A., Cordero, J., & Martínez, J. (2016). Lisina y treonina digestible en dietas para cerdos en crecimiento. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(7), 33-41.
- *Hurtado, V., De Ribeiro Nobre-Soares, R., & Sant'Anna-Lyra, M. (2012). Efecto de los niveles de lisina digestible sobre el rendimiento de cerdos en crecimiento de 45 a 70 kg de peso alimentados con raciones conteniendo subproductos de arroz. *Orinoquia*, 16(1), 39-45.
- Katsumata, M., Kobayashi, H., Ashihara, A., & Ishida, A. (2018). Effects of dietary lysine levels and lighting conditions on intramuscular fat accumulation in growing pigs. *Animal Science Journal*, 72(8), 775-784
- Kim, Y., Ingale, S., Kim, J., Kim, K., & Chae, B. (2011). Effects of dietary lysine and energy levels on growth performance and apparent total tract digestibility of nutrients in weanling pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(9), 1256-1267.
- Lanferdini, E., Lovatto, P., Melchior, R., Orlando, U., Ceccantini, M., & Poleze, E. (2013). Feeding surgically castrated, entire male and immunocastrated pigs with different levels of amino acids and energy at constant protein to energy ratio with or without ractopamine. *Livestock Science*, 151(2-3), 246-251.
- *Lerner, A., Tokach, M., Woodworth, J., DeRouchey, J., Dritz, S., Goodband, R., ... & Vahl, C. (2018). Effects of Dietary Corn Dried Distillers Grains with Solubles Withdrawal on Finishing Pig Performance and Carcass Characteristics. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 4(9), 38.
- Nam, D., & Aherne, F. (1994). The effects of lysine: energy ratio on the performance of weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 72(5), 1247-1256.
- NRC (2012). National Research Council, Nutrient requirements of swine. 11th Ed. National Academy Press. Washington, D. C., U. S. A.
- Martínez, J., Velasco, J., Mora, J., Flores, A., Torres, M., Cerrilla, M., & Gaytán, C. (2014). Niveles óptimos biológicos de lisina para cerdos en crecimiento-finalización. *Revista Científica*, 24(1).

- *Moran, C., Morlacchini, M., Keegan, J., & Fusconi, G. (2018). Dietary supplementation of finishing pigs with the docosahexaenoic acid-rich microalgae, *Aurantiochytrium limacinum*: effects on performance, carcass characteristics and tissue fatty acid profile. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(5), 712-720.
- *Pérez, A., Obispo, N., Palma, J., & Chicco, C. (2005). Efectos de la ractopamina y el nivel de lisina sobre la respuesta productiva de cerdos magros en la fase de engorde. *Zootecnia Tropical*, 23(4), 429-445.
- Pesti, G., Vedenov, D., Cason, J., & Billard, L. (2009). A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. *British Poultry Science*, 50(1), 16-32.
- *Pires, V., Madeira, M., Dowle, A., Thomas, J., Almeida, A., & Prates, J. (2016). Increased intramuscular fat induced by reduced dietary protein in finishing pigs: effects on the longissimus lumborum muscle proteome. *Molecular BioSystems*, 12(8), 2447-2457.
- Pomar, C., Pomar, J., Dubeau, F., Joannopoulos, E., & Dussault, J. (2014). The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed costs in growing–finishing pigs. *Animal*, 8(5), 704-713.
- Rostagno, H., Texeira, L., Hannas, M., Donzele, J., Sakomura, N., Perazzo, F., ... de Oliveira Brito, C. (2017). *Tablas brasileñas para aves y cerdos. Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales* (4ª ed). Viçosa, Brasil: MG UFV.
- Ruíz, I., Stoll, P., Kreuser, M., Boillat, V., Spring, P., & Bee, G. (2016). Impact of amino acid and CP restriction from 20 to 140 kg BW on performance and dynamics in empty body protein and lipid deposition of entire male, castrated and female pigs. *Animal*, 11(3), 394-404.
- Sainz, R., Baldwin, R., & Venazza, R. (2001). Modelos de crecimiento, digestión y lactancia en bovinos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 3(2), 65-76.
- SAS (Statistical Analysis System) (2016). SAS Institute Inc. SAS® 9.4 User's Guide Cary, NC. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.
- Schiavon, S., Dalla Bona, M., Carcò, G., Carraro, L., Bungler, L., & Gallo, L. (2018). Effects of feed allowance and indispensable amino acid reduction on feed intake, growth performance and carcass characteristics of growing pigs. *PloS one*, 13(4), e0195645.
- *Schinckel, A., Steyn, W., Allen, E., Garbossa, C., Eggert, J., & Richert, B. (2015). Effect of 2 net energy feeding programs in combination with ractopamine

on grow-finish pig growth performance and carcass characteristics. *The Professional Animal Scientist*, 31(6), 504-515.

- Schneider, J., Tokach, M., Dritz, S., Nelssen, J., DeRouchey, J., & Goodband, R. (2010). Determining the effect of lysine: calorie ratio on growth performance of ten-to twenty-kilogram of body weight nursery pigs of two different genotypes. *Journal of Animal Science*, 88(1), 137-146.
- Smith, J., Tokach, M., O'Quinn, P., Nelssen, J., & Goodband, R. (1999). Effects of dietary energy density and lysine: calorie ratio on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 77(11), 3007-3015.
- Suárez, J., Sanz, M., Guada, J., & Latorre, M. (2016). Effect of advancing the supply of finisher diet on growth performances and carcass and pork quality of heavy barrows and gilts. *Animal*, 11(1), 156-163.
- *Suescún, J., & Sánchez, H. (2008). Efecto de varios niveles de treonina: lisina sobre parámetros productivos en cerdos en finalización tratados con ractopamina. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 61(1), 4400-4408.
- Szabó, C., Jansman, A., Babinszky, L., Kanis, E., & Verstegen, M. (2001). Effect of dietary protein source and lysine: DE ratio on growth performance, meat quality, and body composition of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 79(11), 2857-2865.
- *Tartrakoon, W., Tartrakoon, T., Kitsupee, N. (2016). Effects of the ratio of unsaturated fatty acid to saturated fatty acid on the growth performance, carcass and meat quality of finishing pigs. *Animal Nutrition*, 2(2), 79-85.
- *Witte, D., Ellis, M., McKeith, F., & Wilson, E. (2000). Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. *Journal of Animal Science*, 78(5), 1272-1276.
- *Wu, G. (2010). Functional amino acids in growth, reproduction, and health. *Advances in Nutrition*, 1(1), 31-37.

APÉNDICES

Apéndice 1. Ecuaciones para calcular el nivel de lisina dietética obtenidas a partir de regresiones.

Ecuación para calcular el nivel LYS en la dieta, basada en la regresión lineal con modelo lineal, para obtener un CDA deseado.
$LYS = -\frac{4}{977} (125 - 547(GDP))$
Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo cuadrático, para obtener un CDA deseado.
$LYS = \frac{1021 - \sqrt[2]{7364691 - 2299000(CDA)}}{2299}$
Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo cúbico, para obtener un CDA deseado.
$LYS = \left((10857 \sqrt{3} \sqrt{((2210145918750000 y^2 - 11049706548805000 y + 12719410143474343) + 884058367500 y - 2209941309761)^{(1/3)} / (10857 \sqrt[3]{10}) + (15686071 \sqrt[3]{10}) / (10857 (10857 \sqrt{3} \sqrt{((2210145918750000 y^2 - 11049706548805000 y + 12719410143474343) + 884058367500 y - 2209941309761)^{(1/3)})} + \frac{10531}{10857} \right)$
Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo lineal, para obtener una GDP deseada.
$LYS = -\frac{1}{387} (1259 - 1000(GDP))$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo cuadrático, para obtener una GDP deseada.

$$LYS = \frac{1}{735} (792 - \sqrt[2]{245000(GDP) - 203041})$$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo cúbico, para obtener una GDP deseada.

$$LYS = \frac{1}{37602} ((75204 \sqrt{3} \sqrt{(265108200750000 y^2 - 1994388692903750 y + 243844727153355597) - 2120865606000 y + 7977554771615})^{(1/3)} + 1613548561 / (37602(75204 \sqrt[3]{10} \sqrt{(265108200750000 y^2 - 1994388692903750 y + 243844727153355597) - 2120865606000 y + 7977554771615})^{(1/3)}) + \frac{40169}{37602}$$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo lineal, para obtener una CA deseada.

$$LYS = \frac{20}{953} (25(CA) - 123)$$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo cuadrático, para obtener una CA deseada.

$$LYS = \frac{21233 - \sqrt[2]{37632000(CA) - 99565343}}{18816}$$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo cúbico, para obtener una CA deseada.

$$LYS = ((15357 \sqrt{15} \sqrt{(3537561735000000 y^2 - 199447305928750000 y + 26726977129710019) - 3537561735000 y + 9723652964375})^{(1/3)}) / (15357 \sqrt[3]{2})$$

$$5^{2/3}) + (3797627 \sqrt[3]{\frac{2}{5}}) / (15357(15357 \sqrt{15} \sqrt{(3537561735000000 y^2 - 199447305928750000 y + 26726977129710019) - 3537561735000 y + 9723652964375)^{(1/3)}) + \frac{17413}{15357}$$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo lineal, para obtener una GD deseada.

$$LYS = \frac{500(GD) - 4211}{5122}$$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo cuadrático, para obtener una GD deseada.

$$LYS = \frac{857063 - \sqrt{37795364509 - 1836420000(GD)}}{918216}$$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo cúbico, para obtener una GD deseada.

$$LYS = ((3402469 \sqrt{5} \sqrt{(2315359059192200000 y^2 - 87436028192762847600 y + 818819066335002710193) + 11576795295961000 y - 218590070481907119)^{(1/3)}) / (3402469 \sqrt[3]{2}) + (45832858149 \sqrt[3]{2}) / (3402469(3402469 \sqrt{5} \sqrt{(2315359059192200000 y^2 - 87436028192762847600 y + 818819066335002710193) + 11576795295961000 y - 218590070481907119})^{(1/3)}) + \frac{3301885}{3402469}$$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo lineal, para obtener un MLD deseado.

$$LYS = -\frac{25(20(MLD) - 1187)}{1808}$$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo cuadrático, para obtener un MLD deseado.

$$LYS = \frac{1105961 - \sqrt{143449784497 - 2340752000(MLD)}}{1170376}$$

Ecuación despejando LYS de la regresión lineal con modelo cúbico, para obtener un MLD deseado.

$$LYS = \frac{1}{1700532} \left((1700532 \sqrt{3} \sqrt{(2168856812268000000 y^2 - 23399320986042571000 y + 6782578368320783254333)} + 4337713624536000 y - 23399320986042571)^{(1/3)} + 390153990073 / (1700532 (1700532 \sqrt{3} \sqrt{(2168856812268000000 y^2 - 23399320986042571000 y + 6782578368320783254333)} + 4337713624536000 y - 23399320986042571)^{(1/3)}) + \frac{2221805}{1700532} \right)$$