



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

NIVELES DE LISINA Y METIONINA EN DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

ANGÉLICA MARIANO CONTRERAS

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis titulada: Niveles de lisina y metionina en dietas bajas en proteína para cerdos en crecimiento realizada por el alumno: Angélica Mariano Contreras bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

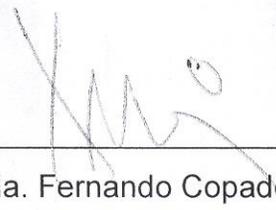
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



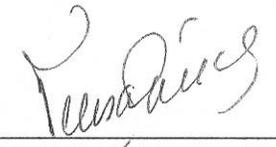
Dr. José Luis Figueroa Velasco

ASESOR



Dr. José Ma. Fernando Copado Bueno

ASESOR



Dra. María Teresa Sánchez-Torres Esqueda

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo 2015.

RESUMEN

NIVELES DE LISINA Y METIONINA EN DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

Angélica Mariano Contreras, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015

El objetivo del estudio fue determinar el mejor nivel de lisina (Lis) y metionina (Met) digestibles y su interacción, en dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína, evaluando el comportamiento productivo, características de la canal y urea en plasma de cerdos en crecimiento. En el primer experimento se evaluó el efecto de 1.0% de Lisina con 0.29, 0.34, 0.39, 0.44 y 0.49% de Metionina digestible, en 50 cerdos (31.39 ± 5.33 kg) por 28 días, en un diseño completamente al azar. En el experimento 2 se utilizaron 1.0 y 1.1% de Lisina con 0.29, 0.34, 0.39 y 0.44% de Metionina en 56 cerdos (27.42 ± 2.97 kg) por 32 días, en un diseño factorial 2×4 . Los resultados del experimento 1 presentaron a las hembras con diferencias significativas en el consumo diario de alimento (CDA), grasa dorsal final (GDF) y concentración de urea en plasma (CUP); el análisis de regresión mostró efecto cúbico para CDA, peso final (PF) y GDF. Los machos redujeron el CDA y PF con 0.49% de Met; el CDA, PF, GDF y área del músculo *longissimus* (AML) presentaron efecto cúbico con regresión. Los resultados del experimento 2 demostraron que el CDA, ganancia de carne magra (GCM), GDF, PF y porcentaje de carne magra (PCM) fueron afectadas positivamente con 1.0 % de lisina; el AML se mejoró al aumentar metionina y CUP por la interacción de lisina x metionina. Los niveles superiores a 0.44% de metionina reducen el comportamiento productivo de los machos y aumentan la GDF y CUP en las

hembras; el comportamiento productivo y características de la canal son mejores con 1.0% de lisina digestible; la disminución de la CUP depende de la interacción de Lisina-Metionina.

Palabras clave: Lisina y metionina digestibles. Comportamiento Productivo. Características de la canal. Concentración de urea en plasma. Cerdos en crecimiento.

ABSTRACT

LYSINE AND METHIONINE LEVELS IN LOW-PROTEIN DIETS FOR GROWING PIGS

Angélica Mariano Contreras, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2015

The objective of the present study was to determine the better level of digestible lysine and methionine and their interaction, in sorghum-soybean meal with low-protein diets, on the productive variables, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration in growing pigs. In the first experiment was evaluated the effect of 1.0% lysine with five levels of digestible methionine (0.29, 0.34, 0.39, 0.44 and 0.49%) by twenty-eight days, in fifty crossbred pigs (25 barrows and 25 gilts) with 31.39 ± 5.33 kg of initial live weight, in a completely randomized design. In the second experiment was evaluated the effect of two digestible lysine levels (1.0 and 1.1%) and four digestible methionine levels (0.29, 0.34, 0.39 and 0.44%), were evaluated during thirty-two days in fifty-six pigs (25 barrows and 31 gilts) with 27.42 ± 2.97 kg of initial live weight, in a factorial design 2x4. The results of experiment 1, gilts showed differences for average daily feed intake (DFI), backfat thickness (BF) and plasma urea nitrogen concentration (PUN); regression analysis showed cubic effect for DFI, final body weight (BW) and BF. Barrows had a reduction of DFI and BW with 0.49% of methionine; the DFI, BW, BF and *longissimus* muscle area (LMA) also presented cubic effect with regression analysis. In the experiment 2, the 1.0% lysine improved the DFI, lean meat gain (LMG), BF, BW and lean meat percentage (LMP); increasing methionine level improved LMG; interaction of lysine and methionine improved PUN.

These results indicated that methionine level higher than 0.44% reduces growth performance of barrows and increases the BF and PUN in gilts; growth performance and carcass characteristics were improved by 1.0% digestible lysine; PUN reduction depends on the interaction of lysine-methionine.

Keywords: Digestible lysine and methionine. Growth performance. Carcass characteristics. Plasma urea nitrogen concentration. Growing pigs.

AGRADECIMIENTOS

Al colegio de Postgraduados y en especial al Programa de Ganadería por la oportunidad que me brindo de cumplir un reto más en mi preparación profesional.

Al CONACyT por financiar mi educación en este tiempo.

Al Ph. D. José Luis Figueroa Velasco, por su dirección y sabiduría para la realización de esta tesis.

Al Dr. José Ma. Fernando Copado Bueno, por su amistad, apoyo y aportes al mejoramiento de esta tesis.

A la Dra. María Teresa Sánchez-Torres, por sus observaciones y sugerencias para mejorar este trabajo de tesis.

A mis amigos, Víctor Ruiz, Adrian Muñoz y Montserrat López, por el apoyo brindado en el experimento.

Al personal de granja y del laboratorio de nutrición, por las facilidades brindadas para llevar a cabo los muestreos y análisis correspondientes a este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de disfrutar cada día de vida.

*A mi hermosa **Vanessa**, por estar presente en mi vida y por darme vida con la luz
de tus ojitos.*

A mis padres por estar apoyándome en cada decisión de mi vida.

Angélica Mariano Contreras

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
II. JUSTIFICACIÓN	4
III. OBJETIVOS	5
IV. HIPOTESIS.....	5
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
5.1. Alimentación de los cerdos	6
5.2. Proteínas y aminoácidos para cerdos	6
5.3. Estructura general de los aminoácidos	8
5.4. Deficiencias y excesos de proteína y aminoácidos.....	10
5.5. Proteína ideal.....	10
5.6. Dietas con baja proteína para cerdos	13
5.6.1. Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento alimentados con dietas bajas en proteína.....	14
5.6.2. Características de la canal de cerdos en crecimiento alimentados con dietas bajas en proteína.....	15
5.6.3. Concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas bajas en proteína.....	16
5.7. Lisina.....	17
5.7.1. Características de la lisina	17

5.7.2. Importancia de la lisina para cerdos	18
5.7.3. Requerimientos de lisina para cerdos en crecimiento.....	18
5.7.4. Efecto de lisina sobre la respuesta productiva de cerdos en crecimiento .	20
5.7.5. Efecto de lisina sobre las características de la canal.....	22
5.7.6. Efecto de la lisina sobre la concentración de urea en plasma	23
5.8. Metionina	24
5.8.1. Características de la metionina.....	24
5.8.2. Importancia de la metionina en cerdos	25
5.8.3. Requerimiento de metionina para cerdos	26
5.8.4. Efecto de metionina sobre el comportamiento productivo de los cerdos ..	27
5.8.5. Efecto de metionina sobre las características de la canal	28
5.8.6. Efecto de metionina sobre la concentración de urea en plasma.....	29
VI. LITERATURA CITADA.....	30
NIVELES DE LISINA Y METIONINA EN DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO	40
1.1. ABSTRACT	40
1.2. RESUMEN	41
1.3. INTRODUCCIÓN	42
1.4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	44
1.5. RESULTADOS.....	49
1.5.1. Experimento 1	49
1.5.2. Experimento 2.....	54
1.6. DISCUSIÓN	57
1.6.1. Experimento 1.....	57
1.6.2. Experimento 2.....	60
1.7. CONCLUSIONES	63
1.8. LITERATURA CITADA.....	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Clasificación de los aminoácidos de acuerdo a su importancia	9
Cuadro 2	Perfil de AA para formular en base a proteína ideal para cerdos en crecimiento.....	12
Cuadro 3	Niveles de lisina digestible de acuerdo a la variable de interés para cerdos en crecimiento.....	20
Cuadro 1.1	Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento (Exp. 1).....	47
Cuadro 1.2	Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento (Exp. 2).....	48
Cuadro 1.3	Comportamiento productivo de hembras en crecimiento, alimentadas con cinco niveles de metionina (Exp. 1).....	50
Cuadro 1.4	Características de la canal y concentración de urea en plasma de hembras en crecimiento, alimentadas con cinco niveles de metionina (Exp. 1).....	51
Cuadro 1.5	Comportamiento productivo de machos castrados en crecimiento, alimentados con cinco niveles de metionina (Exp. 1).....	53
Cuadro 1.6	Características de la canal y concentración de urea en plasma de machos castrados en crecimiento alimentados con cinco niveles de metionina (Exp. 1).....	53.
Cuadro 1.7	Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento, alimentados con dos niveles de lisina y cuatro de metionina (Exp. 2).....	55
Cuadro 1.8	Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento, alimentados con dos niveles de lisina y cuatro de metionina (Exp. 2).....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Función de los aminoácidos en la nutrición y en la homeostasis del cuerpo (adaptado de Wu, 2010).....	7
Figura 2. Estructura de los aminoácidos (Ren <i>et al.</i> , 2013).....	8

LISTA DE ABREVIATURAS

AA	=	Aminoácidos
DBP	=	Dietas con baja proteína
CA	=	Conversión alimenticia
CDA	=	Consumo diario de alimento
AML	=	Área del musculo <i>Longissimus</i>
PCM	=	Porcentaje de carne magra
GCM	=	Ganancia de carne magra
GD	=	Grasa dorsal
GDP	=	Ganancia diaria de peso
PC	=	Proteína cruda
CUP	=	Concentración de urea en plasma
g	=	Gravedad (es)
N	=	Nitrógeno

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los cerdos requieren del aporte de aminoácidos (AA) individuales en la dieta para la síntesis de todos sus componentes proteicos que son generados a través de reacciones metabólicas que combinan más de 20 AA. Durante el proceso de digestión, las proteínas de la dieta son hidrolizadas en AA que luego son absorbidos; a nivel celular estos AA son incorporados en las nuevas proteínas que tienen diversas funciones: enzimáticas, estructurales, etc. (García *et al.*, 2012). En la alimentación de cerdos se debe proporcionar la concentración adecuada de AA esenciales para una correcta satisfacción de sus requerimientos de mantenimiento y producción; los AA 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).

La formulación de dietas con base a cereales (maíz, sorgo) y oleaginosas (pasta de soya) requiere de la disponibilidad comercial de AA sintéticos para balancear la dieta y satisfacer los requerimientos de los cerdos (Rostagno *et al.*, 2011). Por su alta digestibilidad (cercana al 100%), el uso de estos AA reduce el contenido de nitrógeno total en la dieta con la consecuente disminución de la contaminación ambiental generada por la eliminación de excesos de nitrógeno en heces y orina (Lee y Kay, 2002); además, cuando el nivel de AA es inadecuado, la respuesta de los animales estará limitada por los AA deficientes en la dieta. Por otro lado, los excesos de AA en la dieta representan un gasto extra de energía para su metabolismo y eliminación del nitrógeno adicional, implicando un aumento en el costo de producción (Gasparotto *et al.*, 2001).

Los AA lisina y metionina se encuentran comercialmente disponibles y son los más utilizados en la fabricación del alimento, pero también están disponibles en el mercado treonina, triptófano (Cervantes *et al.*, 1997), valina, glutamina-glutamato y arginina; actualmente, las empresas fabricantes pueden surtir prácticamente cualquier AA que se le solicite.

Con los avances nutricionales se ha llegado al uso del concepto de “proteína ideal” en la alimentación de los cerdos, ya que se provee una mejor proporción entre los AA esenciales con respecto a la lisina. Este AA es considerado como referencia en virtud de ser el más utilizado en el organismo, básicamente para la síntesis de proteína corporal y de tejido magro en particular. La principal ventaja del concepto de proteína ideal es que la relación entre los AA sigue siendo la misma para todos los animales independientemente del potencial genético; la proteína ideal solo varía de acuerdo al estado fisiológico del cerdo, ya que algunos requerimientos de mantenimiento aumentan con la edad y peso del animal, principalmente de AA azufrados, en comparación a los requerimientos para la deposición de proteína corporal; además, este concepto permite reducir el nivel de proteína cruda (PC) en la dieta, sin perjudicar la respuesta productiva de los animales (Tuitoek *et al.*, 1997). Los principales ingredientes utilizados en la mayoría de las dietas son el maíz/sorgo-pasta de soya (Cervantes *et al.*, 1997), adicionadas con los principales AA sintéticos que resuelve el problema de la deficiencia de unos y el exceso de otros y que permite reducir la excreción de nitrógeno y la contaminación del medio ambiente (Figuroa *et al.*, 2003); la retención de nitrógeno por los animales está dado según los AA adicionados a la dieta; cuando la lisina y metionina son suplementados, la retención de nitrógeno aumenta notablemente y tiende a ser superior el

comportamiento de los animales que cuando se suplementan por separado. Esto indica que cuando se cubre el requerimiento de lisina puede manifestarse una respuesta a la adición de DL-metionina (Shimada y Ávila, 1981) y esta respuesta está en función del equilibrio y de la relación lisina:metionina en la dieta sobre la base de AA totales o digestibles de acuerdo a la etapa productiva de los animales, dejándose observar una mejoría en la conformación de la canal (García *et al.*, 2004).

II. JUSTIFICACIÓN

La producción de carne de cerdo ocupa el tercer lugar a nivel nacional (SIAP, 2015), por lo que la porcicultura sigue siendo una actividad redituable para los productores en México, ya que la transformación de alimento de origen vegetal en proteína animal requiere de una serie de conocimientos con los que se consigue finalmente satisfacer las necesidades energéticas y proteicas de los humanos; además, la carne de cerdo cuenta con características organolépticas únicas que hace que no compita con las demás, haciéndola más atractiva. La producción intensiva de cerdos requiere la aplicación de estudios nutricionales para abaratar costos de producción y dar a los animales alimentos de calidad; también, este tipo de producciones genera un fuerte impacto ambiental porque en las heces y orina se eliminan los metabolitos que no fueron utilizados o que fueron desechados por el organismo.

La forma de reducir estos dos aspectos es con la utilización de dietas bajas en proteína, adicionadas con aminoácidos sintéticos que se encuentran disponibles comercialmente; con estas prácticas se ha conseguido mejorar el comportamiento productivo de los cerdos, las características de la canal y se ha conseguido la reducción en las emisiones contaminantes. Tomando como base estos avances se planteó el siguiente estudio, ya que la lisina y la metionina son aminoácidos importantes en la formación de carne magra y deben estar presentes en la alimentación de los cerdos para generar dietas más eficientes y por consiguiente animales de calidad.

III. OBJETIVOS

- Evaluar el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con diferentes niveles de lisina y metionina en dietas bajas en proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos.
- Establecer el nivel de lisina que interactúe con el de metionina para una mejor respuesta productiva, mejores características de la canal, y menor concentración de urea en plasma.

IV. HIPOTESIS

- Niveles altos de lisina y de metionina digestible mejorarán la respuesta productiva, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de los cerdos en crecimiento.
- La interacción de la lisina con la metionina afectará positivamente la respuesta productiva, las características de la canal y la concentración de urea en plasma.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Alimentación de los cerdos

La alimentación de los cerdos representa alrededor del 70% del costo total de producción, por esta razón se deben proporcionar dietas que cubran los requerimientos nutricionales de los animales de acuerdo a su genética, etapa físico-productiva, estado sanitario, condiciones ambientales y manejo al que estén sometidos. Dentro de los nutrientes que deben recibir los cerdos en las dietas se encuentran las proteínas, los minerales, las vitaminas y la energía; algunos se usan en mayor cantidad que otros pero todos deben estar presentes ya que la ausencia de alguno afecta el rendimiento productivo de los animales (García y De Loera, 2007).

5.2. Proteínas y aminoácidos para cerdos

Las proteínas están formadas por aminoácidos y de acuerdo al número, tipo y orden de cada AA serán las propiedades y calidad nutricional de la proteína para cubrir los requerimientos de los animales. Los aminoácidos son nutrientes esenciales para los animales y se dividen en esenciales y no esenciales, estos últimos son aquellos que el cerdo no puede sintetizar o lo hace con dificultad; existen cerca de 20 AA importantes para la nutrición, entre ellos 10 son considerados esenciales para los cerdos: lisina, treonina, metionina, triptófano, valina, isoleucina, leucina, histidina, fenilalanina y tirosina (Church *et al.*, 2004; Watford *et al.*, 2011) (Cuadro 1); además de servir como bloques en la construcción de proteína, tienen múltiples funciones de

regulación en las células, ya que estos nutrientes son esenciales para el crecimiento, el desarrollo y la salud de los animales (Wu, 2010) (Figura 1).



Figura 1. Función de los aminoácidos en la nutrición y en la homeostasis del cuerpo (adaptado de Wu, 2010)

Actualmente se hace uso de aminoácidos sintéticos (lisina, metionina, triptófano y treonina) disponibles comercialmente a precios accesibles, para complementar las dietas y reducir el contenido de proteína cruda, proporcionando el equilibrio óptimo

entre los aminoácidos esenciales, logrando un mejor aprovechamiento ya que solo un tercio de la proteína ingerida es retenida por el cerdo, eliminándose dos tercios en heces y orina (Vílchez, 2013).

5.3. Estructura general de los aminoácidos

Los 20 aminoácidos encontrados en las proteínas son α -aminoácidos, es decir poseen un grupo amino y un grupo carboxilo unidos a un mismo carbono, que por convención se denomina carbono α , siendo este el carbono contiguo al grupo carboxilo. Al carbono α se unen otros dos constituyentes, uno de ellos es un átomo de hidrógeno y el otro es el denominado grupo R, el cual es diferente en cada uno de los aminoácidos y es el responsable de otorgarle las propiedades características a cada uno de ellos (Nelson y Cox, 2009).

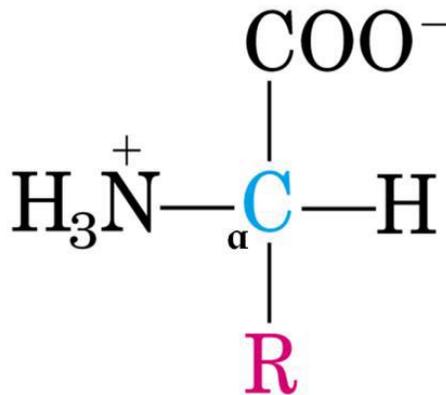


Figura 2. Estructura de los aminoácidos (Ren *et al.*, 2013)

Cada aminoácido posee un nombre propio, habitualmente relacionado con la fuente a partir de los cuales fueron aislados. Los 20 aminoácidos suelen

representarse mediante dos sistemas, el primero de ellos utiliza las primeras 3 letras del nombre del aminoácido en el idioma inglés y el segundo sistema se representa mediante una letra que en algunos casos corresponde a la primera letra del nombre del aminoácido, en otros se trata de una letra relacionada fonéticamente con el nombre del aminoácido en el idioma inglés, otros se valen de cualquier letra contenida en el nombre del aminoácido relacionados con estos y finalmente en el caso de la lisina la letra K fue asignada por su contigüidad a la letra L (Nelson y Cox, 2009).

Cuadro 1 Clasificación de los aminoácidos de acuerdo a su importancia

Esenciales (indispensables)	No esenciales (dispensables)
Arginina (ARG, R)	Alanina (ALA, A)
Histidina (HIS, H)	Asparagina (ASN, N)
Isoleucina (ILE, I)	Cisteína (CYS, C)
Leucina (LEU, L)	Glutamato (GLU, E)
Lisina (LYS, K)	Glutamina (GLN, Q)
Metionina (MET, M)	Glicina (GLY, G)
Fenilalanina (PHE, F)	Aspartato (ASP, D)
Treonina (THR, T)	Prolina (PRO, P)
Triptófano (TRP, W)	Serina (SER, S)
Valina (VAL, V)	Tirosina (TYR, Y)

5.4. Deficiencias y excesos de proteína y aminoácidos

Hay pocos signos clínicos característicos de las deficiencias de aminoácidos en cerdos; el signo principal es la reducción del consumo acompañado por un mayor desperdicio de alimento, problemas de crecimiento y falta de desarrollo en general; el exceso de PC y AA esenciales determina una disminución del rendimiento por una mayor desaminación con más gasto energético a nivel renal y por una intoxicación sanguínea por los metabolitos procedentes de dicho metabolismo proteico (Minozzo, 2002); sin embargo, la alimentación con altos niveles de proteína (por ejemplo, más del 25% de PC para cerdos en crecimiento-finalización) representa un desperdicio que contribuye a la contaminación del medio ambiente y por lo general resulta en la reducción del peso agravando la eficiencia alimenticia (NRC, 1998). Minozzo (2002) menciona que cuidando los niveles de PC en la dieta y ajustando la relación de AA a un perfil ideal, se evitan deficiencias y excesos y la consecuente producción de energía a partir de AA.

5.5. Proteína ideal

La proteína ideal es el balance exacto de aminoácidos, sin provocar deficiencias ni excesos, con el fin de satisfacer los requerimientos absolutos de todos los aminoácidos para mantenimiento y ganancia máxima de proteína corporal, provocando una reducción de su uso como fuente de energía y reduciendo la excreción de nitrógeno al medio ambiente, este concepto fue definido por Mitchell entre 1924 y 1964 (Zaviezo, 2000).

La proteína ideal se basa en la relación lisina con los demás AA esenciales digestibles. Una vez que las necesidades de lisina han sido cubiertas, es posible calcular fácilmente las de otros aminoácidos (Sá y Nogueira, 2010) que son expresados como porcentaje de la lisina, ya que es el primer aminoácido limitante para el crecimiento de los cerdos, cuyo metabolismo está orientado a la deposición de proteína corporal. El consumo de alimento es a menudo limitante para la expresión del potencial de crecimiento, la única manera de aumentar la ingesta de lisina es elevando su concentración en la dieta para asegurarse de que toda la lisina se proporcione para la deposición de proteína corporal (Bisinoto *et al.*, 2007).

La proteína ideal permite reducir los costos de producción, minimizar las pérdidas al medio ambiente y reducir el contenido de proteína en las dietas sin afectar el rendimiento (Bisinoto *et al.*, 2007). Varios autores se han dedicado a establecer niveles de aminoácidos en base a la lisina para formular alimentos con proteína ideal para cerdos en crecimiento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Perfil de AA para formular en base a proteína ideal para cerdos en crecimiento.

Aminoácidos	NRC 1998	TB 2011	NRC 2012
lisina	100	100	100
Metionina + Cistina	47	54	56
Treonina	52	60	60
Valina	56	64	65
Isoleucina	45	51	52
Leucina	83	92	101
Triptófano	15	16	17
Histidina	26	30	34

TB: Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos

Actualmente la proteína ideal para cerdos en crecimiento se puede calcular con base a AA digestibles o totales. La proteína ideal con base en AA digestibles se obtiene usando los valores de digestibilidad ileal verdadera, lo que representa una estimación adecuada de los AA digestibles (NRC, 1998). Cuando se formula bajo este concepto se garantiza que se cubrirán todos los requerimientos de los animales por la combinación de ingredientes proteicos y de AA sintéticos adicionados (Ferket *et al.*, 2002; Rotz, 2004); sin embargo, económicamente esto resulta costoso, ya que se requiere de muchos ingredientes para alcanzar el perfil de los AA, además de que no todos están disponibles comercialmente. Partiendo de este conocimiento se han podido formular dietas con baja proteína cubriendo las necesidades de los AA limitantes sin incrementar los costos de la dieta.

5.6. Dietas con baja proteína para cerdos

Las dietas con baja proteína (DBP) proporcionan todas las necesidades de AA necesarios para los animales, ya que son más exactas que las dietas que se formulan en base a PC, se reducen los excesos de AA y se cubren las deficiencias al adicionar AA sintéticos; con estas dietas se produce una reducción de hasta el 50 % en la excreción de nitrógeno al medio ambiente en las explotaciones porcinas, el comportamiento productivo es similar al de los cerdos alimentados con dietas con PC y se observa una reducción en los costos de producción por el concepto de alimentación, ya que se reduce la cantidad de soya usada en las dietas (Adeola y Sands, 2003); sin embargo, existe factores que afectan los requerimientos de AA en los animales como el sexo, la edad, potencial genético, contenido de energía en el alimento y la temperatura ambiental.

Existen estudios donde se ha logrado disminuir la proteína cruda hasta cuatro unidades porcentuales adicionando lisina, treonina, metionina y triptófano a dietas con base maíz-pasta de soya (Figuroa *et al.*, 2002); también se ha observado que una reducción mayor a cinco unidades porcentuales impacta en la respuesta productiva de los animales aun cuando se adicionen AA sintéticos. Figuroa *et al.* (2003) observaron que cuando se agrega valina e isoleucina o histidina se consigue disminuir la proteína cruda hasta en cinco puntos porcentuales con respecto al nivel recomendado para cerdos en crecimiento.

Un aspecto negativo del uso de dietas con baja proteína es el aumento en la adiposidad corporal de los cerdos reflejado en mayor grasa dorsal. Lo anterior se debe a la mayor disponibilidad de energía neta, al disminuir la necesidad de

metabolizar los excesos de AA que se encuentran en una dieta estándar, por lo que se retiene en forma de grasa (Tuitoek *et al.*, 1997) afectando la calidad de la canal. La utilización de DBP, si se hace correctamente, produce cerdos con características semejantes a los cerdos alimentados con niveles normales de proteína cruda y con menor impacto ambiental (Dapoza, 2002).

5.6.1. Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento alimentados con dietas bajas en proteína

El uso de DBP (12% PC) se debe hacer de forma cuidadosa, ya que se genera un desbalance entre los aminoácidos esenciales alterando el comportamiento productivo de los cerdos, por lo tanto, se recomienda adicionar AA sintéticos (lisina, treonina, metionina y triptófano; Kerr *et al.*, 1995).

La alimentación de cerdos con dietas a base de sorgo-pasta de soya con baja proteína (10.5% PC) y adicionadas con isoleucina e histidina además de los primeros cuatro AA comerciales (mencionados líneas arriba), la ganancia diaria de peso (GDP) se reduce, en contraste a los que consumieron dietas con 16.5% de PC (Cervantes *et al.*, 1997). Cuando la proteína se reduce de 16.5 a 12.5% el consumo de alimento tiende a incrementarse sin alterarse la conversión alimenticia (CA), GDP y la ganancia de carne magra (GCM) (Figuroa *et al.*, 2004) y cuando la PC se reduce hasta 11.5% la GDP sufre una caída y la GCM se reduce hasta en 40 g d⁻¹, aun cuando se adicionen AA sintéticos (Martínez *et al.*, 2009); entre menos sea la reducción de la proteína en las dietas la respuesta productiva de los animales tiende a mejorarse (Zamora *et al.*, 2010). Recientemente se ha establecido un mínimo de

proteína para cerdos en crecimiento alimentados con sorgo-pasta de soya, resultado que se obtuvo mediante un meta-análisis, en donde 15.1% de PC representa el nivel más adecuado para la formulación de dietas para mantener la respuesta productiva y características de la canal que se obtienen en cerdos alimentados con dietas con nivel proteína estándar (González, 2013).

5.6.2. Características de la canal de cerdos en crecimiento alimentados con dietas bajas en proteína

El uso de dietas con baja proteína (12%) para cerdos en crecimiento reduce la pérdida de energía y aumenta la retención de energía metabolizable en los tejidos corporales, principalmente como grasa, generando canales con mayor cantidad de tejido adiposo, por lo que se recomienda ajustar los niveles de energía metabolizable de acuerdo al nivel de PC para mejorar la calidad de la carne (Figuroa *et al.*, 2004).

En las dietas que son adicionadas con AA sintéticos y con el nivel de PC bajo (de 16.5 a 12.5%) no suele alterarse la grasa dorsal (GD), el área de músculo (AML) y el porcentaje de carne magra (PCM); sin embargo, cuando se compara el comportamiento de las hembras con los machos, resulta que las hembras son más eficientes generando una mejor calidad de la canal con DBP (Figuroa *et al.* 2004; Martínez *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010); pero si la proteína se reduce hasta 11% se incrementa el grosor de la grasa dorsal de los animales, cuyo resultado puede revertirse si, además de agregar lisina, metionina, treonina y triptófano, se adicionan valina e histidina o isoleucina en la dieta (Figuroa *et al.*, 2002, 2003).

5.6.3. Concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas bajas en proteína

La reducción de la concentración de urea en plasma (CUP) se interpreta como resultado del uso eficiente del nitrógeno (N) total de la dieta, por lo tanto los niveles bajos de urea indican los niveles adecuados de PC debido a una mayor retención de N (Deng *et al.*, 2007). La disminución de la PC en las dietas de cerdos en crecimiento con una adecuada adición de AA sintéticos reduce el consumo de nitrógeno (N) total (g d^{-1}), con lo que se reduce la cantidad de N absorbido y retenido (g d^{-1}); sin embargo, es más eficiente la retención y absorción de N consumido (Figueroa *et al.*, 2003).

La reducción de la PC en las dietas en cuatro unidades porcentuales con la adición de AA sintéticos, se disminuye en 8.6% la excreción de N en heces y 47% en orina (Kerr y Easter, 1995). Algunos autores han observado que la reducción de la PC de 16.0% hasta 11.0% en dietas con base sorgo-pasta, la CUP se reduce de forma lineal conforme la PC disminuye (Martínez *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010), lo que representa un mejor aprovechamiento de la PC. Se ha observado que el sexo de los animales tiene influencia sobre la concentración de urea en plasma y la excreción de N: las hembras tiene concentraciones menores de urea en plasma y excretan menos N, comparadas con los machos, cuando son alimentados con la misma dieta (Crocker y Robinson, 2002).

5.7. Lisina

5.7.1. Características de la lisina

La lisina es también denominada monoclorhidrato 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.

Actualmente los productos comerciales presentan una pureza mínima del 98% cuyo aporte de lisina corresponde al 78% con un contenido de cloro cercano al 20%; se ha iniciado la comercialización de lisina 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 aminoácido, es que no aporta cloro, cuya ventaja práctica importante es la facilidad de manejo y de almacenamiento. Con la comercialización de L-Lisina se tienen una mayor flexibilidad en el empleo de ingredientes alimenticios no tradicionales, que les permiten mejorar la rentabilidad sin la pérdida de la calidad del alimento. Como resultado, el requerimiento de lisina en los animales puede ser satisfecho de manera efectiva al reducir la proporción de ingredientes costosos y de alto valor proteico.

5.7.2. Importancia de la lisina para cerdos

La lisina es el AA más importante para la síntesis de proteína a nivel celular y, por lo tanto, es formadora de tejido magro; además, sirve como donante de grupos amino para la síntesis de otros AA. Contrariamente a esto, los cerdos no la pueden sintetizar a partir de otros AA, y la síntesis de proteína queda limitada si no hay lisina disponible para el metabolismo y, al no haber síntesis endógena, este AA debe ser obligadamente suministrado a través del alimento (Rostagno *et al.*, 2011). Finalmente, la lisina es el aminoácido de referencia, porque es económicamente viable su adición en la dieta con L-lisina comercial; en raciones elaboradas a base de maíz y/o sorgo-pasta de soya, la adición y consumo de lisina en las dietas mejora el comportamiento productivo, las características de la canal y la composición química de los animales (García *et al.*, 2004).

5.7.3. Requerimientos de lisina para cerdos en crecimiento

Los niveles de AA en la dieta deben ser cercanos a los requerimientos recomendados evitando excesos; de la misma forma es necesario evitar el exceso de proteína. Generalmente los niveles proteicos recomendados satisfacen las necesidades de arginina, valina, isoleucina, leucina, histidina y fenilalanina+tirosina. Los requerimientos nutricionales de los cerdos dependen de varios factores como: raza (genética), sexo, etapa de desarrollo del animal, capacidad de consumo de alimento, nivel energético de la dieta, disponibilidad de los nutrientes, temperatura ambiental, humedad del aire y estado de salud del animal, entre otros (Rostagno *et al.*, 2011).

Las dietas que contienen AA con desbalance entre ellos generan una reducción en el consumo de alimento en cerdos en crecimiento debido a un desequilibrio entre los AA; la adición de AA sintéticos reduce esta respuesta siempre y cuando se conserve la proporción de lisina con los demás AA en las dietas (Kerr *et al.*, 2003).

Martínez *et al.* (2007) y López *et al.* (2010) sugieren que el mejor nivel de lisina para cerdos depende de la variable utilizada para su determinación (ganancia de peso, conversión alimenticia, características de la canal y retención de proteína en el músculo) y de la que se quiera optimizar (Cuadro 3), por lo tanto, el requerimiento de lisina digestible para los cerdos en crecimiento ha sido variable. Un gran número de estudios ha demostrado que los cerdos actuales con un rápido crecimiento, responden a niveles más elevados de lisina cuando se comparan con cerdos alimentados con dietas promedio.

Cuadro 3. Niveles de lisina digestible de acuerdo a la variable de interés para cerdos en crecimiento.

Autores	Peso(kg)	Sexo	% de lisina digestible			
			GDP	CDA	CA	GCM
Abreu <i>et al.</i> (2007)	60-95	M				0.93
Kiefer <i>et al.</i> (2010)		M (e)	1.20			
López <i>et al.</i> (2010)	20-45	H, M H, M	0.75	0.75	0.91	0.75-0.91
Rostagno <i>et al.</i> (2011)	30-50	(*)	0.97-0.92			
Haese <i>et al.</i> (2011)	25-60	M				0.90
Hurtado <i>et al.</i> (2012)	45-70	M	0.92		0.92	
Gattás <i>et al.</i> (2012)	25-60	M	0.96		0.92	0.90
NRC. (2012)	20-50	H, M	1.00			

(*) Animales con desempeño medio, (e) machos enteros.

5.7.4. Efecto de lisina sobre la respuesta productiva de cerdos en crecimiento

El consumo diario de lisina está directamente relacionado con los niveles crecientes de lisina digestible contenida en la dieta, aún sin existir diferencia significativa en el consumo diario de alimento (CDA). En diversos estudios el CDA se ha comportado de forma lineal para cerdos castrados y enteros (Kiefer *et al.*, 2010), y en otros trabajos dicho comportamiento ha sido cúbico para los machos castrados (López *et al.*, 2010) ya que a partir de un cierto nivel la respuesta tiende a reducirse con los valores más altos de lisina digestible en dietas con base en sorgo-pasta de

soya; también se ha observado que el nivel de lisina no produce ningún efecto sobre esta variable (Oliveira *et al.*, 2009; Rocha *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2014) resultado que aparentemente se debe al potencial genético de los animales.

Con la GDP se determina si funciona o no la alimentación de los cerdos, pero también se utiliza para estimar el tiempo requerido para alcanzar el peso de un animal. De acuerdo al NRC (1998, 2012), los requerimientos publicados (0.83 y 1.0% lisina digestible, respectivamente) son calculados únicamente para GDP; existen estudios donde la GDP se mejora de forma lineal (Rocha *et al.*, 2013) cuyo consumo de lisina corresponde a 23.6 g/día; por otra parte, se ha observado que los cerdos enteros generan una mayor GDP cuyo requerimiento es mayor a 1.0% en comparación con animales castrados que su requerimiento es menor (Kiefer *et al.*, 2010), los animales con alto potencial genético se estima que 1.02% es el nivel de lisina para una mejor GDP (Oliveira *et al.*, 2009).

Generalmente un aumento en la GDP se asocia con una mejor eficiencia alimenticia, mayor deposición de proteína corporal y una reducción en la grasa dorsal de los animales. El contenido de AA en la dieta interviene en la ganancia de peso y modifica la conversión alimenticia (CA), por lo tanto, existiendo un nivel de lisina apropiado para los cerdos se mejora la CA (López *et al.*, 2010; Hurtado *et al.*, 2012; Rocha *et al.*, 2013), los cerdos machos sin castrar tienden a ser 13.6% mejores en la CA alimentados con 1.20% de lisina digestible que los animales castrados (Kiefer *et al.*, 2010), ya que las hormonas de los cerdos enteros intervienen en el uso eficiente de la lisina de las dietas.

La ganancia de carne magra (GCM) presenta cierta variabilidad y es necesario considerar que las tasas de crecimiento magro son específicas de acuerdo a las

situaciones el animal, particulares de cada explotación. Con la GCM se puede deducir de qué calidad genética son los animales; si se obtienen valores de 300, 325 y 350 g d⁻¹ se consideran de media, media-alta y alta calidad genética, respectivamente (NRC, 1998); con base en esta información se puede determinar el requerimiento de lisina para la GCM; se ha encontrado que 0.90% de lisina digestible mejora la deposición de carne magra (Haese *et al.*, 2011) pero se han observado resultados convincentes con 0.80% de lisina en animales con alto potencial genético para GCM (Fortes, 2009).

5.7.5. Efecto de lisina sobre las características de la canal

La grasa dorsal recubre la canal y está localizada a lo largo de la línea dorsal o del lomo, desde las vértebras torácicas hasta las vértebras lumbares. No es uniforme a lo largo de toda la columna vertebral, caracterizándose por un aumento progresivo desde la cabeza a la primera costilla y por una disminución bastante acusada hacia la última costilla; finalmente tiende a aumentar de nuevo, con una ligera disminución a nivel de la última vértebra lumbar. El aumento de grasa intramuscular en líneas genéticas magras por medio de la alimentación se ha estudiado con dietas deficientes en AA donde la grasa aumenta significativamente. La respuesta de la grasa dorsal al nivel de lisina depende mucho del potencial genético de los animales, ya que animales alimentados con niveles altos de lisina con potencial genético de medio a alto puede no generar diferencias significativas debido a la acumulación baja de GD (Haese *et al.*, 2011), sin embargo, existen resultados de animales que incrementaron el grosor de la grasa en la medida que consumieron niveles altos de

lisina digestible (Cline *et al.*, 2000; López *et al.*, 2010). El grosor de la grasa dorsal se reduce si la concentración de EM se ajusta a niveles por debajo de lo recomendado en las DBP y de esta manera se obtienen canales de mejor calidad (García *et al.*, 2010).

El área de músculo *longissimus* (AML) es un elemento de importancia en la evaluación de las características cárnicas de una canal; sin embargo, existe variabilidad en los estudios que examinan los efectos del aumento de la lisina en la dieta sobre las características de la canal (Abreu *et al.*, 2007; Nunes *et al.*, 2008). Cuando se aumenta el nivel de lisina en la dieta el área de músculo tiende a ser mayor comparado con los animales que consumen dietas estándar, por lo tanto, se deduce una mayor deposición de proteínas en la canal de cerdos en crecimiento (Gasparotto *et al.*, 2001; Moreira *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2006), independientemente del potencial genético de los animales.

5.7.6. Efecto de la lisina sobre la concentración de urea en plasma

La concentración de urea en plasma (CUP) es un indicador confiable de rápida respuesta a los cambios en los niveles de PC y de AA, ya que es muy sensible a cualquier alteración en la dieta. Cuando se incrementa el nivel de lisina en dietas para cerdos en crecimiento (0.67, 0.75, 0.83, 0.91 y 0.99%), se observa que los niveles altos de este metabolito se presentan con los niveles extremos (0.67 y 0.99%) de lisina presentando un efecto cuadrático. Sin embargo, los demás niveles reducen la CUP en la medida que la lisina aumenta (Abreu *et al.*, 2007; López *et al.*, 2010). Los niveles altos de la urea representan el desbalance entre los demás AA y

lisina debido a una deficiencia o exceso de este AA. Esta información nos ayuda a conocer de manera precisa los requerimientos de AA para los cerdos y para monitorear el buen aprovechamiento de los componentes proteicos, ya que niveles bajos de urea representan un mejor aprovechamiento de los AA por los animales (Trujillo *et al.*, 2007).

5.8. Metionina

5.8.1. Características de la metionina

La metionina (Met) es un AA hidrófobo, cuya fórmula química es $\text{HO}_2\text{CCH}(\text{NH}_2)\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SCH}_3$ y se considera AA esencial (Nelson y Cox, 2009); se comercializa actualmente en dos formas: DL-metionina y DL-metionina hidroxianálogo (DL-2-hidroxi-4-metiltiobutanoico o HMB). El producto sólido comercial tiene una riqueza superior al 99%, mientras que la presentación líquida (sal sódica), menos utilizada por la industria de alimentos balanceados, tiene una riqueza de metionina del 40%. Por su naturaleza química su contenido en sodio y azufre es alto (alrededor de 6.2 y 8.6%, respectivamente). También se reporta que el hidroxianálogo está disponible en forma líquida, con un 88% de riqueza en el producto original, o en forma sólida, como sal con 12% de calcio. Tiene una riqueza en metionina del 100% (880 g de metionina por cada kg de producto comercial) que es el valor recomendado por los proveedores del producto comercial. Además, es un producto ligeramente ácido, lo que potencia en cierta medida el control de hongos por anti-fúngicos.

En las fuentes naturales de metionina, tales como los ingredientes más utilizados para la alimentación de cerdos como maíz, soya, trigo, etc., se encuentra en su forma L (Ribeiro *et al.*, 2005); sin embargo, no se encuentra en cantidades suficientes para cubrir los requerimientos de los animales.

5.8.2. Importancia de la metionina en cerdos

La metionina es el AA inicial en la síntesis de proteína corporal. Sin embargo, los residuos (unidades) de Met de la iniciación de la síntesis pueden ser removidos; también es incorporada a las proteínas como un AA estructural y se encuentra en el núcleo hidrófobo, debido a su naturaleza hidrófoba. En algunas proteínas, los residuos de Met también se encuentran en la superficie; estudios indican que los residuos de metionina son utilizados como antioxidantes endógenos que protegen la funcionalidad de las proteínas (Luo y Levine, 2009). Es el segundo aminoácido esencial para la formación de músculo, se encuentra limitante en la pasta de soya, sorgo y en la mayoría de los cereales usados en la alimentación de los cerdos en crecimiento, cuya disponibilidad es relativamente baja en comparación a otros AA y la respuesta a su inclusión en la dieta no ha sido constante (Cervantes *et al.*, 1997; Baker, 1997).

La metionina se consideró esencial para los cerdos en 1950 por Bell y ha sido donante de radicales metilo cuando son requeridos para la biosíntesis de creatina, carnitina, poliaminas, epinefrina, colina y melatonina, componentes corporales esenciales para el crecimiento normal de los animales (Vieira *et al.*, 2004).

La metionina tiene el 71.1% de eficiencia en comparación con otros AA; cuando existe un exceso de este AA se usa para complementar los requerimientos de cistina, cisteína y taurina, siendo las reacciones irreversibles. De acuerdo a lo anterior, se hace énfasis en la importancia de cubrir los requerimientos de metionina+cistina combinados.

5.8.3. Requerimiento de metionina para cerdos

Los cerdos en crecimiento requieren aproximadamente 10.4 mg de aminoácidos azufrados digeribles por gramo de ganancia de peso corporal. Sin embargo, los datos más recientes sugieren que esta necesidad se ha aumentado aproximadamente 11.2 mg/g para la GDP (Peak, 2005). De acuerdo con el NRC (1998) el requerimiento de metionina digerible para cerdos en crecimiento de 20-50 kg de peso vivo se estimaba en 0.21%. En las tablas Brasileñas (2011) el requerimiento de este AA es de 0.278, 0.272 y 0.283% para machos castrados con potencial genético medio, regular y superior respectivamente; las hembras presentan un requerimiento diferente al de los machos; de hecho tiende a ser superior como se observa en las tablas Brasileñas: 0.284, 0.292 y 0.296% para hembras de potencial genético regular, medio y superior respectivamente. Por su parte, en el NRC del 2012 se sugieren requerimientos superiores (0.29%) a las recomendaciones anteriores, ya que la formulación de dietas está en base a AA digeribles donde ya no se considera la PC.

La adición de Met a las dietas se debe hacer para cubrir también los requerimientos del complejo metionina+cistina, ya que si la metionina es deficiente

no se cubrirán las necesidades de cistina, cisteína y otros compuestos azufrados involucrados en el metabolismo de los animales, así como en la síntesis de proteína. Algunos autores han trabajado en busca de un nivel que cubra las necesidades de met+cis en los cerdos y han encontrado que 0.549% es el nivel que cubre los requerimientos de ambos AA en los animales; valor inferior a lo que recomienda el NRC del 2012.

5.8.4. Efecto de metionina sobre el comportamiento productivo de los cerdos

La respuesta a la adición de Met sobre el comportamiento de los animales está influenciada por el tipo de ingredientes con que la dieta está hecha. En dietas elaboradas con base en trigo-pasta de soya adicionadas con metionina, provocan que la GDP y CA presenten un efecto negativo aun cuando la adición de este AA es relativamente bajo (0.05%) y esto se debe a que la metionina no es limitante en el trigo. En cambio, cuando se adicionan Met y treonina a este tipo de dietas, aumenta la GDP sin afectar la CA y el CDA por la interacción de estos AA (Pichardo *et al.*, 2003). El efecto de la adición de metionina cristalina en dietas con base en sorgo-pasta de soya presentó un efecto negativo sobre el CDA y la GDP, lo que pudo deberse a un exceso de este AA (Cervantes *et al.*, 1997). Por otro lado, cuando se adicionan niveles totales de Met no se provocan efectos sobre GDP, CDA y CA (con 0.32, 0.36, 0.40 y 0.43%) ya que dicho rendimiento fue similar con los niveles más altos en cerdos de 5 a 10 kg de peso vivo (Caldara *et al.*, 2003).

Cuando se agregan Met+cistina digestibles, la GDP aumenta de forma cuadrática, alcanzando un máximo de inclusión (0.549%) en cerdos castrados (Viera

Vaz, 2003; Kiefer *et al.*, 2005); en contraste al aumento lineal observado por Lenis *et al.* (1990) para la misma variable, en función de dos niveles de Met+cistina digestibles en hembras y machos. Kiefer *et al.* (2005) observaron que la CA se mejora por la influencia de los niveles de Met+cistina digestibles en la dieta, mostrando un comportamiento cuadrático con 0.549%. El CDA no fue afectado por 0.427, 0.466, 0.504 y 0.546% de Met+cistina digestible en las dietas usadas por Santos *et al.* (2011), cuyo comportamiento también fue observado previamente por Santos *et al.* (2007) y Pena *et al.* (2008), deduciendo que los animales pueden tolerar excesos considerables de metionina en la dieta sin alterar esta variable. La deposición de carne magra en los animales se mejora al aumentar Met+cistina en la dieta (Viera Vaz, 2003; Kiefer *et al.*, 2005); dicho comportamiento presenta un efecto cuadrático alcanzando un máximo con 0.548% de estos AA en machos castrados (Kiefer *et al.*, 2005).

Cuando existe una deficiencia de Met en el alimento el comportamiento productivo de los cerdos se reduce provocando retraso en el crecimiento y gran acumulación de grasa en la canal (Vieira *et al.*, 2004); cuando la metionina se incrementa en la dieta se mejora el comportamiento productivo de los animales y las características de la canal hasta un cierto nivel, ya que este aminoácido genera toxicidad.

5.8.5. Efecto de metionina sobre las características de la canal

El AML y la GD son características que determinan la calidad de la canal; cuando se usan diferentes niveles de Met+cistina digestible en dietas sorgo-pasta de

soya la GD, AML y el peso de la canal no fueron afectados por estos AA (Pena *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2011) en cerdos en engorda. Sin embargo, las hembras en finalización presentaron un efecto positivo en el porcentaje de carne magra por el aumento en la concentración de metionina+cistina en la dieta (Knowles *et al.*, 1998). Cuando se usa cromo combinado con metionina el AML se mejora sin afectarse las demás características de la canal (Güémez *et al.*, 2011).

5.8.6. Efecto de metionina sobre la concentración de urea en plasma

La retención de nitrógeno por el cuerpo y el crecimiento de los animales se han mejorado con la adición de Met a las dietas, independientemente de la fuente de éste AA. El nitrógeno que se excreta en la orina se reduce con agregando DL-Met o MHA-Ca indicando una eficiente utilización del nitrógeno de la dieta para la síntesis de proteína corporal (Opapeju *et al.*, 2012). Cuando la Met es deficiente en las dietas se limita el uso de otros AA para síntesis de proteína y estos AA que no son utilizados para esa función son excretados, elevando la CUP. Caldara *et al.* (2003) observaron una mayor eficiencia con 0.40% de Met total cuya ingesta diaria corresponde a 1.61 g, este nivel corresponde a la menor concentración urea presente en plasma y se define como el punto máximo de utilización de AA.

VI. LITERATURA CITADA

- Abreu, M. L. T., J. L. Donzele, R. F. M. Oliveira, A. L. S. Oliveira, F. A. Santos, e A. A. Pereira. 2007. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 60 aos 95 kg. R. Bras. Zootec. 36:54-61.
- Adeola, O., and J. S. Sands. 2003. Growth performance of growing pigs fed crude protein-adequate or deficient, low phosphorus diets with graded levels of phytase. Purdue University. Swine Research Report. pp. 84-88.
- Baker, D. H. 1997. Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. Biokyowa technical review-9. University of Illinois. pp 24.
- Bisinoto, K. S., D. A. Berto, F. R. Caldara, M. A. T. Neto, e F. S. Wechsler. 2007. Relação treonina:lisina para leitões de 6 a 11 kg de peso vivo em rações formuladas com base no conceito de proteína ideal. Ciência Rural, Santa Maria. 37:1740-1745.
- Caldara, F. R., D. A. Berto, K. S. Bisinoto, M. A. T. Neto, e F. S. Wechsler. 2003. Exigências em metionina de leitões de 6 a 11kg Exigências em metionina de leitões de 6 a 11kg com base no com base no conceito da proteína ideal. Maringá, 25(1):129-135.

- Cervantes R. M., G. L. Cromwell, and D. Knabe. 1997. Digestibilidad ileal de aminoácidos en dietas bajas en proteína, complementadas con aminoácidos en cerdos en crecimiento. *Agrociencia*. 31:149-155.
- Church, D. C., W. G. Pond, and K. R. Pond. 2004. *Fundamentos de nutrición y alimentación animales*. Editorial Limusa-Wiley. 2^a ed. México D. F. 635 p.
- Cline, T. R., G. L. Cromwell, T. D. Crenshaw, R. C. Ewan, C. R. Hamilton, A. J. Lewis, D. C. Mahan, and L. L. Southern. 2000. Further assessment of the dietary requirements of finishing gilts. *J. Anim. Sci.* 78:987-992.
- Crocker, A. W., and O. W. Robinson. 2002. Genetic and nutritional effects on swine excreta. *J. Anim. Sci.* 80:2809-2816.
- Dapoza, C. 2002. El uso de dietas bajas en proteína para cerdos en crecimiento. <http://www.3tres3.com>, acceso 20 ene, 2015.
- Deng, D., L. Ai-Ke, W. Y. Chu, R. L. Huang, T. J. Li, X. F. Kong, Z. J. Liu, G. Y. Wu, Y. M. Zhang, and Y. L. Yin. 2007. Growth performance and metabolic responses in barrow fed low-protein diets supplemented with essential amino acids. *Livest. Sci.* 109: 224-227.
- Ferret, P. R., E. van Heugten, T. A. T. G. van Kempen, and R. Angel. 2002. Nutritional strategies to reduce environmental emissions from nonruminants. *J. Anim. Sci.* 80:168-182.
- Figuroa J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80:2911-2919.

- Figuroa J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, and R. M. Diedrichsen. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. Anim. Sci.* 81:1529-1537.
- Figuroa, J. L., R. M. Cervantes, J. M. Cuca, y M. Méndez. 2004. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia.* 38:382-394.
- Fortes, E. I. 2009. Níveis de lisina digestível e planos de nutrição para suínos machos castrados de duas linhagens genéticas. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidad Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- García C. R. F., Á. O. E. Malacara, C. J. Salinas, H. M. Torres, R. J. M. Fuentes, y G. J. R. Kawas. 2010. Efecto de la suplementación de lisina sobre la ganancia de peso y características cárnicas y de la canal en cerdos en iniciación. *Revista Científica FCV-LUZ.* 20(1):61–66.
- García C. R. F., C. C. Rodríguez, y R. M. Reza. 2004. Dietas para pollo reproductor basadas en lisina y metionina total y digestible, con adición de enzimas. *Revista Agraria -Nueva Época.* 52(1):6-12.
- García, C. A., e O. Y. De Loera. 2007. Nutrição do reproductor suíno. *Suínos & Cía.* *Revista Técnica de Suinocultura. Brasil.* 22:10-20.
- García, C. A., O. Y. G. De Loera, A. P. Yagüe, G. J. A. Guevara, y A. C. García. 2012. Alimentación práctica del cerdo. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias* 6:21-50.

- García, C. R. F., C. Cruz, R. Morones, y F. Picón. 2004. Dietas para pollo reproductor basadas en lisina y metionina total y digestible, con adición de enzimas. *Rev. Agr. Nueva Época*. 52:6-12.
- Gasparotto, L. F., I. Moreira, e C. A. Furlan. 2001. Exigência de lisina, com base no conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de dois grupos genéticos, na fase de crescimento. *R. Bras. Zootec.* 30:1742-1749.
- González, R. M. 2013. Meta-análisis de dietas con baja proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos para cerdos en engorda. (Tesis de Doctorado) Colegio de Postgraduados.
- Güémez, G. H. R., A. R. R. Javier, V. J. M. Romo, A. H. Ramos, L. J. M. Uriarte, C. S. A. Félix, R. F. G. Ríos, C. R. Barajas, y C. S. M. Gaxiola. 2011. Efecto de la adición de cromo a la dieta en el desempeño productivo y características de la canal del cerdo en crecimiento-finalización *REDVET*. 12(3):1-11.
- Haese, D., J. L. Donzele, O. R. F. Miranda, A. Saraiva, F. C. de Oliveira, J. L. Kill, and M. L. T. Abreu. 2011. Digestible lysine for barrow of genetic lines selected for meat deposition from 60 to 100 days of age. *R. Bras. Zootec.* 40:1941-1946.
- Hurtado-Nery, V. L., R. T. R. Nobre–Soares, y M. Sant’Anna–Lyra. 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):30-45.
- Kerr, B. J., F. K. McKeith, and R. A. Easter. 1995. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 73:433-440.

- Kerr, B. J., J. T. Yen, J. A. Nienaber, and R. A. Easter. 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81:1998-2007.
- Kerr, B. J., and R. A. Easter. 1995. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 73:3000-3008.
- Kiefer C., A. S. Ferreira, J. L. Donzele, R. F. M. Oliveira, F. C. O. Silva, e P. C. Brustolini. 2005. Exigência de metionina + cistina digestíveis para suínos machos castrados mantidos em ambiente termoneutro dos 30 aos 60 kg. *R. Bras. Zootec.* 34:847-854.
- Kiefer, C., J. L. Donzele, e O. R. F de Miranda. 2010. Lisina digestível para suínos machos não castrados de alto potencial genético em fase de crescimento. *Ciência Rural, Santa Maria.* 40: 1630-1635.
- Knowles, T. A., L. L. Southern, and T. D. Bidner. 1998. Ratio of total sulfur amino acids to lysine for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76:1081-1090.
- Lee, P. A., and R. M. Kay. 2002. The effect of commercially formulated, reduce crude protein diets, formulated to 11 apparent ileal digestible essential amino acids, on nitrogen retention by growing and finishing boars. *Livest. Prod. Sci.* 81:89-98.
- Lenis, N. P., J. T. M. Van Diepen, and P. W. Goedhart. 1990. Amino acid requirements of pigs. Requirements for methionine to cystine, threonine, tryptophan of fast-growing boars and gilts, fed ad libitum. *Neth. J. Agr. Sci.* 38:577-595.

- López, M., J. L. Figueroa, M. J. González, L. A. Miranda, V. Zamora, y J. L. Cordero. 2010. Niveles de lisina y treonina digestible en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento. *Archivos de Zootecnia*. 59: 205-216.
- Luo, S., and R. L. Levine. 2009. Methionine in proteins defends against oxidative stress. *FASEB J* 23:464-472.
- Martínez, A. J. A., J. L. Figueroa, J. L. Cordero, A. Ruíz, M. T. Sánchez, M. E. Ortega, y C. Narciso. 2014. Niveles óptimos biológicos de lisina para cerdos en crecimiento-finalización. *Revista Científica FCV-LUZ*. 24(1):64 -72.
- Martínez, M., J. L. Figueroa, J.E. Trujillo, V. Zamora, J.L. Cordero, M.T. Sánchez, y L. Reyna. 2009. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína. *Vet. Méx.* 40:27-38.
- Martínez, M., J. L. Figueroa, M. J. González, J. L. Landero, and R. Medina. 2007. Optimal biological level of total lysine for finishing pigs fed sorghum-soybean meal diets. *J. Anim. Vet. Adv.* 6:1146-1151.
- Minozzo, G. 2002. *Avances en nutrición y alimentación animal*. 2ª ed. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid. pp. 89-106.
- Moreira, I., L. F. Gasparotto, A. C. Furlan, V. M. P. Ishida, e G. C. Oliveira. 2002. Exigência de lisina para machos castrados de dois grupos genéticos de suínos na fase de terminação, com base no conceito de proteína ideal. *R. Bras. Zootec.* 31:96-103.
- National Research Council. 1998. *Nutrient requirements of swine*. 10th ed. National Academy Press. Washington D.C. USA.

- National Research Council. 2012. Nutrient requirements of swine 11th Ed. National Academy Press, Washington, D.C. USA.
- Nelson, D., y M. Cox. 2009. Lehninger Principios de Bioquímica. 5a Edición. Ediciones Omega; Barcelona, España; pp 71 – 117.
- Nunes, C. G. V., R. F. M. Oliveira, J. L. Donzele, J. C. Siqueira, A. A. Pereira, e B. A. N. Silva. 2008. Níveis de lisina digestível para leitões dos 6 aos 15 kg. R. Bras. Zootec. 37:84-88.
- Oliveira, A. L. S., J. L. Donzele, O. R. F. de Miranda, M. L. T. Abreu, A. S. Ferreira, F. C. de Oliveira, e D. Haese. 2006. Exigência de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 15 aos 30. R. Bras. Zootec. 35: 2338-2334.
- Oliveira, A. L. S., J. L. Donzele, M. L. T. Abreu, F. C. O. Silva, R. F. M. Oliveira, A. S. Ferreira, e F. A. Santos. 2009. Exigência de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 30 aos 60 kg. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim. 10(1):106-114.
- Opapeju F. O., J. K. Htoo, C. Dapoza, and C. M. Nyachoti. 2012. Bioavailability of methionine hydroxyl analog-calcium salt relative to DL-methionine to support nitrogen retention and growth in starter pigs. Animal. 6(11):1750–1756.
- Peak, S. 2005. TSAA Requirements for Nursery and Growing Pigs. Advances in Pork Production. 16:101-107.
- Pena, S. M., D. C. Lopes, H. S. Rostagno, F. C. Oliveira, e J. L. Donzele. 2008. Relações metionina mais cistina digestível:lisina digestível em dietas suplementadas com ractopamina para suínos em terminação. R. Bras. Zootec. 37(11):1978-1983.

- Pichardo, A., M. Cervantes, M. Cuca, J. L. Figueroa, A. B. Araiza, N. Torrentera, y M. Cervantes. 2003. Limiting amino acids in wheat for growing-finishing pigs. *Interciencia*. 28(5):287-291.
- Ren W., Y. Li, Y. Yin, and F. ois Blachier. 2013. Structure, Metabolism and functions of amino acids: An overview. *Nutritional and Physiological Functions of Amino Acids in Pigs*. 92-107.
- Ribeiro, A. M. L., F. Dahlke, and A. M. Kessler. 2005. Methionine sources do not affect performance and carcass yield of broilers fed vegetable diets and submitted to cyclic heat stress. *R. Bras. Ciênc. Avíc.* 7:159-164.
- Rocha, G. C., D. J. Lopes, D. R. F. M. Oliveira, S. F. C. Oliveira, C. Kiefer, L. Alebrante, P. V. Rodrigues, e N. V. Lopes. 2013. Lisina digestível para leitoas em fase de crescimento. *Ciência Rural*. 43(5): 871-877.
- Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzele, P. C. Gomes, R. F. Oliveira, D. C. Lopes. A. S. Ferreira, S. L. T. Barreto, e R. F. Euclides. 2011. *Tabelas Brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais*. 3^{ra} ed. Viçosa: UFV, 186p.
- Rotz. C. A. 2004. Management to reduce nitrogen losses in animal production. *J. Anim. Sci.* 82:119-137.
- Sá, L., e E. T. Nogueira. 2010. Atualização das relações valina e isoleucina com a lisina na proteína ideal para frangos de corte e suínos. http://www.lisina.com.br/publicacoes_detalhes.aspx?id=2179, Acesso 10 ene, 2015.
- Santos, F. A., J. L. Donzele, F. C. S. Oliveira, R. F. M. Oliveira, M. L. T. Abreu, A. Saraiva, and D. H. João. 2011. Levels of digestible methionine+cystine in

- diets for high genetic potential barrows from 95 to 125 kg. R. Bras. Zootec. 40(3):581-586.
- Santos, F. A., J. L. Donzele, R. F. M. Oliveira, F. C. O. Abreu, e M. L. T. Saravia. 2007. Exigência de metionina + cistina digestíveis em suínos machos castrados de alto potencial genético na fase dos 60 aos 95 kg. R. Bras. Zootec. 36:2047-2053.
- Shimada, S. A., y Ávila E. 1981. El valor nutritivo del triticale como alimento potencial para el hombre y los animales. Investigación nacional. Ciencia Veterinaria. 3:355-357.
- Sistema de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2015. Índice de Volumen Físico Agropecuario Febrero 2015. <http://www.siap.gob.mx/ivf-indice-de-volumen-fisico-agropecuario-febrero-2014/>, acceso 10 de marzo, 2015.
- Trujillo, C. J. E, J. L. Figueroa, M. Martínez, V. Zamora, J. L. Cordero, M. T. Sánchez, J. M. Cuca, y M. Cervantes. 2007. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. Agrocienca. 41(6):597-607.
- Tuitoek, J. K., L. G. Young, C. F. M. de Lange, and B. J. Kerr. 1997. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: An evaluation of the ideal protein concept. J. Anim. Sci. 75:1575-1583.
- Vieira Vaz, R. G. M. 2003. Exigência de aminoácidos sulfurados para suínos machos castrados mantidos em diferentes ambientes térmicos dos 15 aos 30 kg. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

- Vieira, S. L., and A. Lemme, D. B. Goldenberg and I. Brugalli. 2004. Response of growing to broilers diets with increased sulfur amino acids to lysine rations at two dietary protein levels. *Poult. Sci.* 83:1307-1313.
- Vílchez P. C. 2013. Importancia fisiológica de los aminoácidos en la nutrición de porcinos. Departamento Académico de Nutrición, Universidad Nacional Agraria La Molina. Artículo Técnico. <http://www.actualidadporcina.com/articulos/importancia-fisiologica-aminoacidos-nutricion-lechones.html>, acceso 15 ene, 2015.
- Watford, M., M. Kutschenko, and E. T. Nogueira. 2011. Optimal dietary glutamine for growth and development. *R. Bras. Zootec.* 40:384-390.
- Wu, G. 2010. Functional amino acids in growth, reproduction, and health. *Adv. Nutr.* 1:31–37.
- Zamora, Z. V., J. L. Figueroa, J. L. Cordero, M. Rugerio, L. Reyna, y M. T. Sánchez. 2010. Adición de glucomananos a dietas con baja proteína a base de sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento y finalización. *Revista Científica FCV-LUZ.* 20:274–283.
- Zaviezo, D. 2000. Concepto de proteína ideal. Requerimientos de aminoácidos de pollos y gallinas. *Avicultura profesional. EUA.* 18:18-22.

NIVELES DE LISINA Y METIONINA EN DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

Angélica Mariano-Contreras,^a José Luis Figueroa-Velasco,^a José Ma. Fernando Copado-Bueno,^b María Teresa Sánchez-Torres,^a José Luis Cordero-Mora,^a José Alfredo Martínez-Aispuro^a

1.1. ABSTRACT

To determine the best digestible lysine and methionine levels in sorghum-soybean meal, low-protein diets for growing (31.39 ± 5.33 ; and 27.42 ± 2.97 kg) pigs on growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration, two experiments were carried out with 106 pigs using 1.0% lysine with 0.29, 0.34, 0.39, 0.44 and 0.49% methionine; and 1.0 and 1.1% lysine with 0.29, 0.34, 0.39 and 0.44% methionine. In Exp. 1, gilts showed cubic effect of methionine on some variables; barrows had cubic effect of methionine on some variables and reduction on average daily feed intake and final body weight with 0.49% methionine. In Exp. 2, some variables were improved with 1.0% lysine; other improved when methionine was increased in the diet; plasma urea nitrogen concentration was reduced by lysine-methionine interaction. These results indicate that 1.0% lysine and up to 0.44% methionine are the best concentrations for growing pigs.

Keywords: Digestible lysine and methionine. Growth performance. Carcass characteristics. Plasma urea nitrogen concentration. Growing pigs.

^aPrograma de Ganadería, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230, México. ^bDepartamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230, México

1.2. RESUMEN

Para determinar el mejor nivel de lisina y metionina digestibles en dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína, evaluando el comportamiento productivo, características de la canal y urea en plasma de cerdos en crecimiento (31.39 ± 5.33 ; y 27.42 ± 2.97 kg), se realizaron dos experimentos con 106 cerdos utilizando 1.0% de lisina con 0.29, 0.34, 0.39, 0.44 y 0.49% de metionina; y 1.0 y 1.1% de lisina con 0.29, 0.34, 0.39 y 0.44% de metionina. En Exp. 1, las hembras presentaron efecto cúbico de metionina sobre algunas variables. Los machos mostraron efecto cúbico en algunas variables y redujeron consumo y peso final con 0.49% de metionina. En Exp. 2, algunas variables fueron mejores con 1.0 % de lisina; otras mejoraron al aumentar metionina; urea en plasma disminuyó por la interacción de lisina-metionina. Lo anterior indica que 1.0% de lisina y hasta 0.44% de metionina son las concentraciones más adecuadas para cerdos en crecimiento.

Palabras clave: Lisina y metionina digestibles. Comportamiento Productivo. Características de la canal. Concentración de urea en plasma. Cerdos en crecimiento.

1.3. INTRODUCCIÓN

El primer aminoácido (AA) limitante en las dietas con base maíz/sorgo–pasta de soya para cerdos en crecimiento es la lisina; la metionina se considera el segundo o tercer AA limitante en estas dietas. Estos AA son parte fundamental en la estructura de las proteínas e intervienen en la formación de músculo; también son componentes importantes de todos los tejidos y del metabolismo de nutrientes (Pink *et al.*, 2003; Nunes *et al.*, 2008). Las dietas formuladas con PC de acuerdo al NRC (1998) y adicionadas con lisina mantienen el comportamiento productivo de los animales pero en estas dietas otros AA esenciales suelen ser limitantes: treonina, triptófano, metionina y cistina, y este último AA depende de la cantidad de metionina presente en la dieta (Di Buono *et al.*, 2003; Pichardo *et al.*, 2003).

La deficiencia de lisina hace que el comportamiento productivo y la síntesis de proteína de los cerdos se reduzca, aumentando la deposición grasa intramuscular (Sundrum *et al.*, 2000; Shoveller *et al.*, 2010) causado por el desbalance o deficiencia de los AA. También, se ha observado que cuando se incrementa la metionina en la dieta, la ganancia diaria de peso (GDP) aumenta de forma lineal, la grasa se reduce y se presenta una mejor retención de AA que está en función del consumo de alimento (Kim *et al.*, 2006), por lo tanto, la deficiencia de metionina provoca retraso en el desarrollo y gran deposición de grasa (Viera *et al.*, 2004) y el exceso se usa para completar los requerimientos de cistina, cisteína y taurina, siendo las reacciones irreversibles.

Con los avances en la nutrición de cerdos se han implementado estrategias de alimentación que reducen la concentración de proteína en la dieta (dietas con baja

proteína; DBP) y con la adición de los AA disponibles comercialmente se mantienen los niveles productivos (Viera *et al.*, 2004). Sin embargo, debido a la mejora genética no se tiene un requerimiento nutricional fijo, porque además, dichas necesidades nutricionales también varían de acuerdo con la etapa de desarrollo, estado fisiológico, sexo, ambiente y estado de salud de los animales (Dai *et al.*, 2011; Wu *et al.*, 2013).

Las nuevas tablas del NRC (2012) establecen que la formulación de dietas sea con base en AA digestibles para cerdos, y no se considera ningún valor de proteína total o digestible; de esta forma se consigue reducir el impacto del exceso de los nutrientes en el alimento de los cerdos sobre el medio ambiente (Moughan, 2003; Malik *et al.*, 2009) reduciendo los niveles de urea en plasma y mejorando la eficiencia alimenticia (Trujillo *et al.*, 2007).

La concentración de urea en plasma (CUP) se considera como un indicador de respuesta de los animales alimentados con DBP y se ha observado que conforme la proteína se reduce en la dieta la CUP también disminuye (Figuroa *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2009; Reyes *et al.*, 2012), y se ha usado para determinar la cantidad adecuada de los AA esenciales (lisina, metionina, treonina y triptófano) para los animales (Trujillo *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2009; Rostagno *et al.*, 2011).

El objetivo de esta investigación fue determinar el mejor nivel de lisina y metionina digestibles y su interacción en dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína, evaluando el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento.

1.4. MATERIAL Y MÉTODOS

El siguiente estudio se llevó a cabo en la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en km 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, municipio de Texcoco, Estado de México. El clima predominante de esta región es templado semi-seco, con temperatura media anual de 15.9°C, a una altitud de 2243 msnm (García, 1998).

Experimento 1: Se formularon cinco dietas isoproteicas (15.1% de PC; valor obtenido de un meta-análisis (González, 2013) bajo el concepto de dietas bajas en proteína, ya que el NRC (2012) no considera el nivel de proteína. Se utilizó un nivel de lisina (Lis) digestible (1.0%) (NRC, 2012) con cinco niveles de metionina (Met) digestible (0.29, 0.34, 0.39, 0.44 y 0.49%) en cerdos en crecimiento (Cuadro 1). Las dietas fueron formuladas con base en sorgo-pasta de soya y adicionadas con AA sintéticos (L-Lisina HCl, DL-Metionina, L-Triptófano y L-Treonina). Se mantuvo un nivel isoenergético (Cuadro 1) de acuerdo con lo recomendado por el NRC (2012).

Se utilizaron 50 animales: 25 hembras y 25 machos castrados híbridos (Duroc×Pietrain×Yorkshire) terminales, en un diseño completamente al azar, con peso promedio inicial de 31.39±5.33 kg y aproximadamente 56 días de edad, con diez repeticiones por tratamiento; cada cerdo se consideró como unidad experimental ya que fueron alojados en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. Antes de comenzar el experimento se les dio a los animales una semana de adaptación (ambiente, instalaciones y alimento), la duración del experimento fue de 28 días.

Experimento 2: Este experimento se basó en los resultados del primero, ya que se requiere investigar si se mejora la respuesta productiva de los animales aumentando de 1.0% (Experimento 1) a 1.1% de lisina digestible; para la metionina sólo se consideraron cuatro niveles, ya que en el primer experimento el tratamiento con 0.49% de metionina afectó negativamente algunas variables como el CDA, PF en machos y GD, CUP en hembras. Se evaluaron dos niveles de lisina digestible (1.0 y 1.1%), con cuatro de metionina digestible (0.29, 0.34, 0.39 y 0.44%; Cuadro 2), conservando el mismo nivel isoenergético (NRC, 2012) e isoproteico (González, 2013) del primer experimento; también las dietas fueron elaboradas con base en sorgo y pasta de soya y adicionadas con AA sintéticos como en Exp. 1.

Se utilizaron 56 cerdos híbridos (Duroc×Pietrain×Yorkshire) terminales: 25 hembras y 31 machos castrados, con peso promedio inicial de 27.42 ± 2.97 kg, con ± 50 días (d) de edad, distribuidos en un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 2×4 , cada tratamiento con siete repeticiones (hembras y machos); se consideró a cada cerdo como unidad experimental ya que se mantuvieron en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero tipo chupón. El periodo de alimentación duró 32 días; también a estos animales se les dio un periodo de adaptación al alimento, instalaciones y al ambiente de una semana.

Las variables de respuesta para ambos experimentos fueron: comportamiento productivo: consumo diario de alimento (CDA), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), ganancia de carne magra (GCM) y peso final de los cerdos (PF); Características de la canal: grasa dorsal inicial y final (GDI y GDF), porcentaje de carne magra inicial y final (PCMI y PCMF), área del músculo

Longissimus inicial y final (AMLI y AMLF); y la concentración de urea en plasma (CUP).

Los animales fueron pesados al inicio y al final de la etapa para calcular el CDA, la GDP y la CA; la GD y el AML se midieron a la altura de la décima costilla, al inicio y al final del experimento para lo cual se utilizó un equipo de ultrasonido de tiempo real SonoVet 600 marca MEDISON (Medison, Inc., Cypress, CA, USA). Los datos de GD, AML, PI y PF se utilizaron para determinar la GCM y el PCM con la ecuación del NPPC (1991).

La concentración de urea en plasma se obtuvo tomando muestras de sangre mediante punción en la vena cava de los cerdos al final del experimento, para ello se utilizaron tubos vacutainer® de 10 ml con heparina (BD Vacutainer®, Franklin Lakes, NJ, 07417, USA), a una temperatura menor a los 15 °C y posteriormente se centrifugaron (centrifuga SIGMA 2-16k, Alemania) a 1286 g por 20 minutos, para separar el plasma del paquete celular; luego se almacenó en tubos de polipropileno (Becton Dickson Labware) y se conservaron en un congelador a -20 °C (Sanyo MDF-436, EUA). La determinación de la concentración de urea en plasma se realizó por espectrofotometría de rayos UV (Espectrofotómetro Cary 1E de luz UV visible, Varian, Australia) (Chaney y Marbach, 1962).

El análisis estadístico de las variables fue con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (2009). La comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Tukey (SAS, 2009). Para el primer experimento se estimaron coeficientes de regresión que incluyeron efectos lineales, cuadráticos y/o cúbicos, tomando en cuenta el coeficiente de determinación (R^2). El peso inicial (PI) se tomó como covariable para el análisis estadístico.

Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento (Exp. 1).

Ingrediente (%)	Tratamiento				
	T1	T2	T3	T4	T5
Sorgo	75.92	75.97	76.04	76.08	76.13
Pasta de soya	17.94	17.85	17.77	17.69	17.60
Aceite de soya	2.50	2.48	2.45	2.43	2.41
Ortofosfato	1.10	1.12	1.10	1.11	1.11
CaCO ₃	1.02	1.00	1.01	1.01	1.00
L-Lisina HCL	0.57	0.58	0.58	0.58	0.58
L-treonina	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17
DL- Metionina	0.10	0.17	0.20	0.26	0.31
L-Triptófano	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Premezcla V+M [§]	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Sal	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Total	100	100	100	100	100
Análisis calculado (%)					
PC (%)	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1
EM (Mkcal kg ⁻¹)	3300	3300	3300	3300	3300
Lisina	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Metionina	0.29	0.34	0.39	0.44	0.49
Metionina+Cistina	0.50	0.53	0.55	0.60	0.65
Treonina	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Triptófano	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Fósforo	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
Calcio	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Análisis determinado (%)					
PC (%)	15.17	15.2	15.29	15.02	15.11
Calcio	0.75	0.78	0.77	0.75	0.75
Fósforo	0.66	0.65	0.64	0.64	0.62

[§]Proporcionó por kg de alimento: retinil acetato, 112,500 IU; colecalciferol, 21,250 IU; DL- α -tocoferil acetato, 500 IU; menadiona (como complejo de bisulfito de sodio-menadiona), 62.5 mg; ácido fólico, 3.75 mg; ácido nicotínico, 625 mg; riboflavina, 15 mg; cianocobalamina, 500 mg; ácido pantoténico (como pantotenato de calcio), 45 mg; D-biotina, 6.25 mg; cloruro de piridoxina, 25 mg; cloruro de tiamina, 25 mg; colina (como cloruro de colina), 15 g; I (como Ca[IO₃]₂×H₂O), 75 mg; Co, 2.5 mg; Mn, 750 mg; Se, 5 mg. V+M: vitaminas+minerales.

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento (Exp. 2).

Ingrediente (%)	Tratamiento							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Sorgo	76.10	76.15	76.19	76.24	76.32	76.37	76.42	76.46
Pasta de soya	17.85	17.77	17.69	17.61	17.51	17.42	17.34	17.26
Aceite de soya	2.42	2.40	2.38	2.36	2.39	2.37	2.35	2.33
Ortofosfato	1.29	1.29	1.28	1.28	1.30	1.30	1.30	1.31
CaCO ₃	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80
L-Lisina HCL	0.59	0.59	0.59	0.59	0.72	0.73	0.73	0.73
L-treonina	0.16	0.16	0.21	0.26	0.17	0.17	0.21	0.26
DL- Metionina	0.10	0.15	0.17	0.17	0.10	0.16	0.17	0.17
L-Triptófano	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Premezcla V+M [§]	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Sal	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Análisis calculado (%)								
PC (%)	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1
EM (kcal kg ⁻¹)	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
Fósforo	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Calcio	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Lisina	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	1.10	1.10	1.10
Metionina	0.29	0.34	0.39	0.44	0.29	0.34	0.39	0.44
Metionina+Cistina	0.50	0.55	0.60	0.65	0.50	0.55	0.60	0.65
Treonina	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Triptófano	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
Análisis determinado								
PC (%)	15.29	15.15	15.26	15.27	15.15	15.22	15.26	15.32
Calcio	0.70	0.72	0.70	0.69	0.71	0.69	0.68	0.67
Fósforo	0.60	0.61	0.6	0.61	0.63	0.64	0.64	0.63

[§]Proporcionó por kg de alimento: retinil acetato, 112,500 IU; colecalciferol, 21,250 IU; DL- α -tocoferil acetato, 500 IU; menadiona (como complejo de bisulfito de sodio-menadiona), 62.5 mg; ácido fólico, 3.75 mg; ácido nicotínico, 625 mg; riboflavina, 15 mg; cianocobalamina, 500 mg; ácido pantoténico (como pantotenato de calcio), 45 mg; D-biotina, 6.25 mg; cloruro de piridoxina, 25 mg; cloruro de tiamina, 25 mg; colina (como cloruro de colina), 15 g; I (como Ca[IO₃]₂·2H₂O), 75 mg; Co, 2.5 mg; Mn, 750 mg; Se, 5 mg. V+M: vitaminas+minerales.

1.5. RESULTADOS

1.5.1. Experimento 1

1.5.1.1. Hembras

Los resultados obtenidos en este experimento se muestran en el Cuadro 3. La GDP, CA, PF y GCM no presentaron diferencias ($P>0.05$) por efecto de tratamiento (T; dietas con niveles crecientes de metionina). El CDA fue afectado por el nivel de AA contenidos en las dietas ($P\leq 0.05$). Al hacer la comparación de medias se observaron diferencias significativas ($P\leq 0.05$) en el CDA entre tratamientos, donde el consumo de T3 (0.39% Met) fue menor en comparación a T5 (0.49% Met).

En el análisis de regresión lineal se observaron diferencias significativas ($P\leq 0.05$) para el CDA encontrando que el modelo que más se ajusta para esta variable es el cúbico, con la siguiente ecuación de predicción: $Y=0.682-0.221(\text{Met})+0.099(\text{Met})^2-0.011(\text{Met})^3+0.39(\text{PI})$, con $R^2=0.72$. También el PF presentó un efecto cúbico cuya ecuación de predicción fue: $Y=15.612-3.677(\text{Met})+2.01(\text{Met})^2-0.265(\text{Met})^3+1.235(\text{PI})$, con $R^2=0.84$, ya que el modelo cúbico explicó 84% de la variación para PF.

Las variables AMLF y PCMF (Cuadro 4) no fueron afectadas por los tratamientos ($P>0.05$). La GDF presentó diferencias significativas ($P\leq 0.05$) entre T1 (0.29% Met) y T5 (0.49% Met), aumentando la grasa dorsal al elevarse la Met en la dieta; mientras que no se observó diferencia entre los demás tratamientos. La concentración de urea en plasma (CUP) fue afectada por el nivel de AA en la dieta ($P\leq 0.05$); al hacer la comparación de medias se observó que T2 (0.34% Met) y T5 (0.49% Met) fueron diferentes, aumentando la CUP a medida que se incrementó la

Met en la dieta; mientras que T1 (0.29%), T3 (0.39%) y T4 (0.44% Met) propiciaron concentraciones de urea en plasma similares ($P>0.05$) en los cerdos.

En el análisis de regresión lineal se observaron diferencias significativas ($P\leq 0.05$) para la GDF, dicha variable se ajustó a un modelo cúbico con la siguiente ecuación de predicción: $Y=2.301+2.60(\text{Met})-0.85(\text{Met})^2+0.095(\text{Met})^3+0.103(\text{PI})$, con $R^2=0.51$. Con estos modelos podemos determinar el nivel de AA que genere el mejor comportamiento de los animales con base en esta variable.

Cuadro 3. Comportamiento productivo de hembras en crecimiento, alimentadas con cinco niveles de metionina (Exp. 1)

Tratamiento		Comportamiento productivo					
Met (%)	CDA (kg d ⁻¹)	GDP (kgd ⁻¹)	CA (kg kg ⁻¹)	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kgd ⁻¹)	
T1	0.29	1.80 ^{ab}	0.701	2.67	32.13	53.17	0.249
T2	0.34	1.94 ^{ab}	0.773	2.62	33.60	56.80	0.254
T3	0.39	1.71 ^b	0.703	2.51	30.50	51.60	0.240
T4	0.44	1.92 ^{ab}	0.811	2.44	30.16	54.50	0.283
T5	0.49	1.99 ^a	0.741	2.41	34.40	56.64	0.254
EEM		0.067	1.5	0.02	1.07	1.41	0.307
Efecto R ²							
Lineal		0.716	0.140	0.271	-	0.829	0.105
Cuadrático		0.716	0.175	0.304	-	0.836	0.111
Cúbico		0.721	0.194	0.305	-	0.840	0.197

Met=Metionina, PI= Peso inicial, PF= Peso final, GDP= Ganancia diaria de peso, GCM= Ganancia de carne magra, CA= Conversión alimenticia, CDA=Consumo diario de alimento, EEM= Error estándar de la media. a,b,c Medias con distinta letra difieren significativamente ($p\leq 0.05$).

Cuadro 4. Características de la canal y concentración de urea en plasma de hembras en crecimiento, alimentadas con cinco niveles de metionina (Exp. 1)

Tratamiento	Características de la canal							CUP
	Met (%)	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI (%)	PCMF (%)	UREA (mgdL ⁻¹)
T1	0.29	4.00	7.5 ^b	13.94	21.11	45.43	41.47	20.75 ^{ab}
T2	0.34	4.40	8.2 ^{ab}	15.33	21.20	45.57	40.37	18.42 ^b
T3	0.39	3.80	8.4 ^{ab}	12.94	20.11	45.73	40.81	24.01 ^{ab}
T4	0.44	4.00	8.2 ^{ab}	13.48	21.37	45.77	41.09	24.86 ^{ab}
T5	0.49	4.80	9.6 ^a	15.33	22.97	45.07	40.75	30.18 ^a
EEM		0.124	0.241	0.418	0.569	0.05	0.45	0.007
Efecto R ²								
Lineal		-	0.494	-	0.362	-	0.250	0.360
Cuadrático		-	0.494	-	0.377	-	0.292	0.374
Cúbico		-	0.511	-	0.381	-	0.298	0.397

Met=Metionina, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF=Grasa dorsal final, AMLI=Área de músculo *Longissimu* sinicial, AMLF= Área de músculo *Longissimus* final, CMI= Carne magra inicial, CMF= Carne magra final, CUP= Concentración de urea en plasma, EEM= Error estándar de la media. a,b,c Medias con distinta letra difieren significativamente (p≤0.05).

1.5.1.2. Machos castrados

El comportamiento de los machos castrados se presenta en el Cuadro 5, en donde se observa que GDP, CA y GCM no presentaron diferencias significativas (P>0.05) por efecto de tratamiento, pero el CDA y PF de los cerdos sí fueron afectados (P≤0.05) por el nivel de Met en la dieta. La comparación de medias mostró que los cerdos alimentados con T4 (0.44% Met) presentaron el mayor consumo, mientras que los que recibieron T5 (0.49% Met) y T2 (0.34% Met) tuvieron el consumo más bajo (P≤0.05). Para PF, los animales del T1 (0.29% Met) fueron más pesados que los del T2 (0.34% Met) y T5 (0.49% Met) que fueron los de menor peso (P≤0.05); los cerdos del T3 (0.39%) y T4 (0.44% Met) también fueron más pesados que los del T5 (P≤0.05).

El comportamiento de los cerdos machos castrados se ajusta a modelos cúbicos para las variables que presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$); la regresión lineal para el CDA (Cuadro 5) generó la siguiente ecuación de predicción: $Y = 1.616 - 0.935(\text{Met}) + 0.392(\text{Met})^2 - 0.046(\text{Met})^3 + 0.030(\text{PI})$, con $R^2 = 0.73$. La regresión del PF presentó el modelo siguiente: $Y = 17.029 + 2.225(\text{Met}) - 0.197(\text{Met})^2 - 0.028(\text{Met})^3 + 1.11(\text{PI})$, con $R^2 = 0.90$, valor cercano a 1.0 indicando que el modelo se ajustó de acuerdo con la distribución de los resultados.

Ninguna de las características de la canal fue afectada ($P > 0.05$) por el nivel de AA en la dieta (Cuadro 6). Sin embargo, el análisis de regresión presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para las variables GDF y AMLF. La GDF mostró un efecto cúbico representado en el siguiente modelo: $Y = 5.440 - 1.515(\text{Met}) + 0.429(\text{Met})^2 - 0.035(\text{Met})^3 + 0.144(\text{PI})$, con $R^2 = 0.55$. Finalmente, el AMLF también presentó un efecto cúbico, con la siguiente ecuación de predicción: $Y = 10.232 - 0.234(\text{Met}) - 0.436(\text{Met})^2 + 0.103(\text{Met})^3 + 0.381(\text{PI})$, con $R^2 = 0.52$.

Cuadro 5. Comportamiento productivo de machos castrados en crecimiento, alimentados con cinco niveles de metionina (Exp. 1)

Tratamiento		Comportamiento productivo					
Met (%)	CDA (kg d ⁻¹)	GDP (kgd ⁻¹)	CA (kg kg ⁻¹)	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kgd ⁻¹)	
T1	0.29	2.04 ^{ab}	0.758	2.71	34.00	56.75 ^a	0.265
T2	0.34	1.86 ^{bc}	0.795	2.37	28.70	52.54 ^{bc}	0.278
T3	0.39	1.95 ^{abc}	0.813	2.41	31.60	56.00 ^{ab}	0.275
T4	0.44	2.18 ^a	0.823	2.65	31.76	56.44 ^{ab}	0.282
T5	0.49	1.73 ^c	0.757	2.29	27.50	50.20 ^c	0.279
EEM		0.049	0.014	0.063	1.058	1.244	0.005
Efecto R ²							
Lineal		0.601	0.082	0.357	-	0.890	0.039
Cuadrático		0.642	0,213	0.361	-	0.906	0.051
Cúbico		0.739	0.214	0.443	-	0.907	0.057

Met=Metionina, PI= Peso inicial, PF= Peso final, GDP= Ganancia diaria de peso, GCM= Ganancia de carne magra, CA= Conversión alimenticia, CDA=Consumo diario de alimento, EEM= Error estándar de la media. a,b,c Medias con distinta letra difieren significativamente (p≤0.05).

Cuadro 6. Características de la canal y concentración de urea en plasma de machos castrados en crecimiento alimentados con cinco niveles de metionina (Exp. 1)

Tratamiento		Características de la canal					CUP	
Met (%)	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI (%)	PCMF (%)	UREA (mgdL ⁻¹)	
T1	0.29	4.50	9.25	14.46	22.58	44.35	40.61	23.23
T2	0.34	3.40	8.00	11.65	19.91	45.44	40.68	23.92
T3	0.39	4.00	8.40	12.96	20.26	44.51	39.83	28.13
T4	0.44	4.00	8.60	13.33	21.19	44.80	40.19	30.67
T5	0.49	3.60	8.20	12.26	21.59	46.38	42.10	27.99
EEM		0.138	0.217	0.458	0.57	0.354	0.283	1.685
Efecto (R ²)								
Lineal		-	0.518	-	0.429	-	0.209	0.175
Cuadrático		-	0.550	-	0.522	-	0.390	0.189
Cúbico		-	0.553	-	0.525	-	0.409	0.191

Met=Metionina, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF=Grasa dorsal final, AMLI=Área de músculo *Longissimus* inicial, AMLF= Área de músculo *Longissimus* final, CMI= Carne magra inicial, CMF= Carne magra final, CUP= Concentración de urea en plasma, EEM= Error estándar de la media. a,b,c Medias con distinta letra difieren significativamente (p<0.05).

1.5.2. Experimento 2

El análisis de este experimento se hizo de forma global, ya que entre machos y hembras no hubo diferencias significativas ($P>0.05$); los resultados se presentan en los Cuadros 7 y 8. Las variables del comportamiento productivo no presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) por efecto de tratamiento; sin embargo, el CDA fue afectado ($P\leq 0.017$) por el nivel de lisina, siendo 15.65% mayor con dietas con 1.0% de lisina digestible. La GCM aumentó ($P\leq 0.025$) al incrementarse el nivel de lisina en la dieta, siendo 15.60% mayor con 1.0% de lisina digestible; la GDP presentó una tendencia ($P\leq 0.094$) a mejorarse con este mismo nivel. El PF tendió ($P\leq 0.066$) a ser mayor con 1.1% de lisina digestible (Cuadro 7). No se observó efecto de la adición de metionina ni de su interacción con lisina para estas variables ($P>0.05$).

Las características de la canal no presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) entre los tratamientos proporcionados a los cerdos. Sin embargo, algunas variables mostraron efecto por el nivel de lisina o metionina: la GDF fue 12.29% menor ($P\leq 0.001$) con 1.0% de lisina digestible en comparación con 1.1%; el PCMF fue afectado significativamente por la lisina ($P\leq 0.001$) y fue 2.50% mayor con 1.0% de lisina digestible; mientras que el AMLF mejoró ($P\leq 0.024$) con 0.29% y 0.44% de metionina en la dieta.

Finalmente, la CUP fue afectada ($P\leq 0.002$) por la interacción de lisina y metionina, ya que T4, T5 y T6 presentaron los niveles más bajos de este metabolito, lo que correspondió a 1.0:0.44; 1.1:0.29 y 1.1:0.34 (%Lis:%Met).

Cuadro 7. Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento, alimentados con dos niveles de lisina y cuatro de metionina (Exp. 2)

Tratamientos		Comportamiento productivo					
Lis:Met (%)	CDA (kgd ⁻¹)	GDP (kgd ⁻¹)	CA (kg kg ⁻¹)	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kgd ⁻¹)	
T1	1.0:0.29	2.18	0.827	2.65	29.57	52.72	0.312
T2	1.0:0.34	1.70	0.712	2.76	28.09	48.07	0.254
T3	1.0:0.39	2.04	0.758	2.75	27.53	48.80	0.272
T4	1.0:0.44	1.98	0.775	2.59	28.69	50.42	0.288
T5	1.1:0.29	1.66	0.710	2.34	24.70	59.54	0.245
T6	1.1:0.34	1.82	0.711	2.58	29.11	54.00	0.251
T7	1.1:0.39	1.60	0.631	2.55	28.17	50.28	0.210
T8	1.1:0.44	1.59	0.671	2.37	25.79	49.31	0.247
EEM		0.054	0.022	0.071	0.435	0.790	0.008
Efectos principales							
1		1.98a	0.768	2.69		50.00	0.282a
1.1		1.67b	0.681	2.46		50.78	0.238b
	0.29	1.92	0.768	2.49		51.13	0.279
	0.34	1.76	0.712	2.67		51.03	0.252
	0.39	1.82	0.695	2.65		49.87	0.241
	0.44	1.78	0.723	2.48		49.54	0.267
Fuente de variación		Valor de P					
Lisina		0.017	0.094	0.235		0.066	0.025
Metionina		0.420	0.642	0.808		0.616	0.326
L*M		0.255	0.803	0.997		0.759	0.612
PI		0.009	0.488	0.246		0.001	0.323

L=Lisina, M=Metionina, PI= Peso inicial, PF= Peso final, GDP= Ganancia diaria de peso, GCM= Ganancia de carne magra, CA= Conversión alimenticia, CDA=Consumo diario de alimento, EEM= Error estándar de la media. a,b,c Medias con distinta letra difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

Cuadro 8. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento, alimentados con dos niveles de lisina y cuatro de metionina (Exp. 2)

Tratamientos	Características de la canal						CUP	
	Lis:Met (%)	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI (%)	PCMF (%)	UREA (mgdL ⁻¹)
T1	1.0:0.29	2.57	6.42	12.17	21.65	46.06	42.62	16.82
T2	1.0:0.34	2.85	5.42	11.80	17.90	46.13	41.78	16.01
T3	1.0:0.39	2.71	5.42	12.04	18.84	46.90	42.16	14.50
T4	1.0:0.44	2.85	6.14	13.01	21.11	47.32	42.95	10.73
T5	1.1:0.29	2.14	6.71	11.20	19.28	48.47	41.56	11.95
T6	1.1:0.34	2.71	6.57	12.04	20.08	45.95	41.07	10.79
T7	1.1:0.39	3.00	6.71	12.52	18.53	46.87	40.89	16.17
T8	1.1:0.44	2.75	6.71	10.39	19.35	46.44	41.75a	19.39
EEM		0.072	0.145	0.210	0.362	0.255	0.189	0.750
Efectos principales								
1			5.85b		19.88		42.38a	14.51
1.1			6.67a		19.31		41.32b	14.57
	0.29		6.57		20.46		42.09	14.38
	0.34		6.00		18.99		41.42	13.40
	0.39		6.07		18.69		41.53	15.34
	0.44		6.42		20.23		42.35	15.06
Fuente de variación								
			Valor de P					
Lisina			0.001			0.883	0.001	0.792
Metionina			0.140			0.024	0.331	0.706
L*M			0.981			0.499	0.812	0.002
PI			0.005			0.000	0.129	0.323

L=Lisina, M=Metionina, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF=Grasa dorsal final, AMLI=Área de músculo *Longissimus* inicial, AMLF= Área de músculo *Longissimus* final, CMI= Carne magra inicial, CMF= Carne magra final, CUP= Concentración de urea en plasma, EEM= Error estándar de la media. a,b,c Medias con distinta letra difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

1.6. DISCUSIÓN

1.6.1. Experimento 1

El mejor consumo de alimento en las hembras se obtuvo con el nivel más alto de Met presentando cierta tolerancia a estos niveles en comparación a los machos, cuyo comportamiento fue totalmente contrario, ya que estos animales redujeron su consumo con el nivel más alto de Met mostrándose sensibles a mayor concentración de este aminoácido. Con base en lo anterior se deduce que el sexo es un factor que influye tanto en el patrón de ingesta de alimento en la respuesta a la variación en los niveles dietéticos de Met como en la tolerancia a mayor concentración de Met en la dieta. En estudios recientes (Santos *et al.*, 2007; Pena *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2011) donde se evaluaron diferentes niveles de metionina+cistina en dietas para cerdos con alto potencial genético, se observó que el CDA no fue afectado por el nivel de estos AA (metionina+cistina), respuesta que no coincide con lo observado en las hembras de este experimento ya que se mejoró el consumo; Almeida *et al.* (2010) observaron que el CDA se redujo con la adición del complejo cromo-metionina sin alterar la CA de los animales, comportamiento similar al de los cerdos machos castrados en este experimento. El CDA en hembras y machos se ajustó a modelos cúbicos que explican el 72 y 73%, respectivamente, de la variación de acuerdo con el nivel de metionina en la dieta, con lo cual se puede predecir el mejor nivel de dicho aminoácido con base en la respuesta de esta variable.

Las variables GDP, CA, PF y GCM en las hembras no fueron afectadas por el nivel de metionina en la dieta, ya que la retención de nitrógeno para la formación de proteína muscular está relacionada a la limitación de AA en las dietas (Heger *et al.*,

2008); de esta forma si existiera un desbalance de AA los animales presentarían un retraso en el crecimiento y una disminución en el CDA, lo que presumiblemente no ocurrió en las hembras de este experimento. Con esto se deduce que el contenido de AA en las dietas de este experimento es adecuado para la capacidad de crecimiento de los animales utilizados en el mismo; el PF de las hembras, aunque no haya mostrado efecto de tratamiento, se ajustó en 84% a los valores de un modelo cúbico, lo que indica que al aumentar los niveles de metionina se alcanzó el máximo consumo de los cerdos, pero con el nivel más alto se redujo el consumo indicando efecto tóxico de la mayor concentración de metionina, aun en hembras que parecen más tolerantes a niveles altos de este aminoácido.

En los machos castrados la GDP, CA y GCM no fueron afectadas por el nivel de metionina en la dieta; en cambio, el PF se redujo con el nivel más alto de metionina, una vez más se evidencia que este AA es tóxico para los machos en cantidades elevadas, ya que reduce el consumo y el peso final de los animales. Santos *et al.* (2007) observaron diferencias en el peso de los machos de acuerdo con los niveles de metionina en la dieta; en cambio Pena *et al.* (2008) no encontraron efecto de AA azufrados sobre el PF de los animales, cuyo resultado coincide a lo obtenido en las hembras.

Las variables AMLF y PCMF en las hembras no fueron afectadas por los tratamientos, pero en trabajos realizados por Güémez *et al.* (2011) observaron que el AML se mejoró con la adición del complejo cromo-metionina sin alterar la GDF y el resto de las características de la canal; en el presente trabajo la metionina digestible influyó sobre la GDF, generando mayor grosor de grasa dorsal con el nivel más alto de metionina y reduciéndose con el nivel bajo de este AA, evidenciando un posible

exceso y desbalance entre los demás AA, ya que el exceso de AA engrasa las canales (grasa dorsal) debido a que en la eliminación de este nitrógeno en exceso o en desbalance de AA por el cerdo, se retienen los esqueletos carbonados en forma de grasa.

Las características de la canal de los machos no presentaron efecto por la concentración de metionina en la dieta, resultados que coinciden con lo observado por Pena *et al.* (2008) y Santos *et al.* (2011) cuyos tratamientos se basaron en diferentes niveles de metionina+cistina y Almeida *et al.* (2010) quienes probaron dietas adicionadas con cromo-metionina. El comportamiento de la GDF y el AMLF se ajustó en 50% a un modelo cúbico aunque no se observaron diferencias significativas para estas dos variables, ya que no hay una tendencia marcada para un nivel en especial.

La CUP permite detectar el efecto de nivel de AA individuales o globales así como el efecto del desbalance en las dietas; en este caso se considera un exceso de metionina la que produce niveles superiores a 20 mg dl^{-1} de urea. La CUP del presente estudio está relacionada con la GDF de las hembras, ya que al haber un exceso de metionina y al retenerse los esqueletos de carbono (eliminando el nitrógeno de los AA en exceso) se incrementa este metabolito en la sangre incrementándose la síntesis de urea que posteriormente es eliminada en la orina, y aunque los machos no hayan presentado diferencias significativas por el nivel de metionina, la CUP fue superior a los valores observados en las hembras.

1.6.2. Experimento 2

Cuando se incrementó la lisina y la metionina en las dietas se afectó el comportamiento productivo y características de la canal de los cerdos en crecimiento (Cuadros 7 y 8). El CDA se reduce con niveles altos de lisina digestible, lo que también se observó en la GCM, considerando que 1.1% de lisina digestible representa un exceso para los animales lo que provoca un desbalance de este AA con respecto a los demás. La respuesta del CDA coincide con lo obtenido en estudios con dietas con base a sorgo-pasta de soya (López *et al.*, 2010), donde también encontraron efecto por el nivel de lisina; sin embargo, otras investigaciones no encontraron evidencia de que esta variable fuese afectada por la concentración de este AA (Oliveira *et al.*, 2009; Rocha *et al.*, 2013).

La GDP sólo mostró una tendencia ya que el coeficiente de variación fue elevado (23.10%) lo que no permitió detectar diferencias significativas entre los tratamientos; se observó un ligero incremento en la ganancia de peso con el nivel de lisina digestible bajo (1.0%); Oliveira *et al.* (2009) estimaron 1.02% de lisina digestible para la mejor GDP en animales con alto potencial genético, valor cercano al recomendado por el NRC (2012) y al utilizado en el presente estudio. La CA no fue afectada por el nivel de lisina en la dieta, resultado que contradice los reportes de Oliveira *et al.* (2009) ya que ellos observaron un efecto lineal donde la mejor respuesta ocurrió con 1.0%; este nivel cubre los requerimientos de los animales con una mejor eficiencia alimenticia.

El PF tendió a mejorarse en los animales que consumieron las dietas con el nivel alto de lisina. López *et al.* (2010) trabajaron con diferentes niveles de lisina y

observaron efectos positivos conforme se incrementaba la lisina en la dieta; pero los autores no encontraron diferencias significativas para la GCM ya que el nivel de PC utilizado en su investigación fue alto, lo que con frecuencia confunde los efectos del nivel de proteína con los del nivel de lisina; mientras que para el presente trabajo la GCM fue mayor con el nivel bajo de lisina. De acuerdo con esta variable (ganancia de carne magra; $<300 \text{ g d}^{-1}$) los animales se consideran de una genética media (NRC, 1998) por lo tanto, la demanda de lisina tiende a ser menor en comparación a cerdos de alto potencial genético; además, el nivel de PC en las dietas del presente experimento fue bajo, determinado con un meta-análisis (González, 2013) donde 15.1% de PC es el nivel con el que la respuesta productiva y la características de la canal no se ven alteradas siempre y cuando se adicionen AA sintéticos a las dietas.

La GDF se incrementó conforme aumentó la concentración de lisina en la dieta, lo que puede deberse a la mayor presencia de cadenas carbonadas provenientes del exceso de los AA, generándose mayor grosor de grasa dorsal, lo que también fue observado por otros autores que utilizaron dietas con niveles bajos y altos de lisina (García *et al.*, 2010); en este estudio se evidencia que el requerimiento de lisina para el potencial genético de los cerdos se está cubriendo con 1.0%, por lo tanto, un aumento de este AA produce una mayor cantidad de grasa (Rocha *et al.*, 2013); por otro lado, existen estudios donde no se encontró diferencia significativa en el espesor de la grasa dorsal por efecto de la concentración de lisina en la dieta (Arouca *et al.*, 2007; Fortes *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2014).

La metionina tiende a mejorar el AMLF siendo mayor con los niveles extremos de este AA (el más bajo y más alto) en la dieta, en contraste con otros estudios donde se observó que la lisina es el AA que mejora el AML conforme este se

incrementa (Main *et al.*, 2008); en cambio, García *et al.* (2010) no encontraron efecto sobre el AML con diferentes niveles de lisina en la dieta, similar a lo observado en el presente experimento para la lisina. Al contrario, en el presente estudio se encontró que la metionina fue el AA que intervino en la mejora de ésta característica e interactuó mejor con el nivel bajo de lisina que con el alto, propiciando mayor formación de músculo.

El PCMF fue afectado por el nivel de lisina, ya que al aumentar este AA se reduce el porcentaje de carne magra final. Una vez más se observa que los animales no respondieron a los tratamientos que contenían 1.1% de lisina digestible. López *et al.* (2010) observaron un efecto cuadrático de acuerdo al nivel de lisina en contraste a lo obtenido en este trabajo. Según Abreu *et al.* (2007) los cerdos con mayor capacidad de deposición de tejido magro tienen mayor requerimiento de lisina y de otros AA en comparación a los animales cuya capacidad de retención de proteína muscular es menor.

La CUP presentó efecto por la interacción entre lisina y metionina, aunque el coeficiente de variación fue alto (35.51%) y no dejó ver una tendencia marcada por un sólo tratamiento; la lisina y la metionina regulan estas concentraciones en diferentes formas, ya que lisina al 1.0% genera niveles bajos de éste metabolito y metionina se encuentra al 0.39 y 0.44%; mientras que lisina al 1.1% también genera concentraciones bajas cuando se combina con metionina al 0.29 y 0.34%, comportamiento que coincide con trabajos reportados por López *et al.* (2010) quienes encontraron una reducción de este metabolito conforme la lisina se incrementó; estos resultados también fueron similares a los encontrados por Abreu *et al.* (2007) La lisina (1.0%) con los niveles bajos de metionina (0.29 y 0.34%), y la lisina (1.1%) con

los niveles altos de metionina (0.39% y 0.44%), posiblemente estuvieron generando un desbalance entre los demás AA, lo que provocó que no se estuvieran aprovechando de forma completa y el nitrógeno en exceso fue eliminado, por eso se observaron concentraciones elevadas de urea en plasma para estos tratamientos.

1.7. CONCLUSIONES

Para lisina digestible, la mejor respuesta en general se observa con 1.0%. Para metionina digestible, la mejor respuesta en general se obtiene agregando hasta 0.44%; mayor concentración (0.49%) afecta negativamente la respuesta de los cerdos, principalmente consumo de alimento. No se observó un efecto significativo de la interacción entre estos dos aminoácidos sobre las variables productivas y de la canal, con excepción de la concentración de urea en plasma (1.0% de lisina con 0.39 y 0.44% de metionina; 1.1% lisina con 0.29 y 0.34% metionina).

1.8. LITERATURA CITADA

- 1) Abreu MLT, Donzele JL, Oliveira RFM, Oliveira ALS, Santos FA, Pereira AA. 2007. Níveis de lisina digestível em rações utilizándose o conceito de proteína ideal para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra dos 60 aos 95 kg. R. Bras. Zootec. 36(1):54-61.
- 2) Almeida VV, Berenchtein B, Batista CL, Panhoza TML, Barbosa BD, Shiguero MV. 2010. Ractopamina, cromo-metionina e suas combinações como aditivos modificadores do metabolismo de suínos em crescimento e terminação. R. Bras. Zootec. 39(9):1969-1977.
- 3) Arouca CLC, Fontes DO, Baião NC, Silva MA, Silva FCO. 2007. Níveis de lisina para suínos machos castrados seleccionados geneticamente para deposição de carne magra na carcaça dos 95 aos 122 kg, Ciência Agrotécnica. 31(2):531- 539.
- 4) Chaney AL, Marbach EP. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clin. Chem. 8:130-132.
- 5) Dai ZL, Wu G, Zhu WY. 2011. Amino acid metabolism in intestinal bacteria: links between gut ecology and host health. Front. Biosci. 16:1768–1786.
- 6) Di Buono M, Wykes LJ, Cole DEC, Ball RO, Pencharz PB. 2003. Regulation of sulphur amino acid metabolism in humans in response to changes in sulphur amino acid intakes. J. Nutr. 133:733–39.
- 7) Figueroa JL, Martínez M, Trujillo JE., Zamora V, Cordero JL and Sánchez TMT. 2008. Plasma urea nitrogen concentration and growth performance of finishing pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets. J. Appl. Anim. Res. 33: 7-12.

- 8) Fortes EL, Donzele JL, Oliveira RFM, Saraiva A, Silva FCO, Souza MF. 2012. Sequências de lisina digestível para suínos de duas linhagens selecionadas para alta deposição de carne. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 13(2):480-490.
- 9) García CRF, Malacara ÁOE, Salinas CJ, Torres HM, Fuentes RJM, Kawas GJR. 2010. Efecto de la suplementación de lisina sobre la ganancia de peso y características cárnicas y de la canal en cerdos en iniciación. *Revista Científica FCV-LUZ.* 20(1):61–66.
- 10) García E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4a Ed. México D. F. 217.
- 11) González RM. 2013. Meta-análisis de dietas con baja proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos para cerdos en engorda. (Tesis de doctorado) Colegio de Postgraduados.
- 12) Güémez GHR, Javier ARR, Romo VJM, Ramos AH, Uriarte LJM, Félix CSA *et al.* 2011. Efecto de la adición de cromo a la dieta en el desempeño productivo y características de la canal del cerdo en crecimiento-finalización. *REDVET.* 12(3):1-11.
- 13) Heger J, Křížová L, Šustala M, Nitravová S, Patráš P and Hampel D. 2008. Individual response of growing pigs to sulphur amino acid intake. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 91(1):18-28 (Abstract).
- 14) Kim BG, Lindemann MD, Rademacher M, Brennan JJ, Cromwell GL. 2006. Efficacy of DL-methionine hydroxy analog free acid and DL-methionine as methionine sources for pigs. *J. Anim. Sci.* 84:104–111.

- 15) López M, Figueroa JL, González MJ, Miranda LA, Zamora V Y Cordero JL. 2010. Niveles de lisina y treonina digestible en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento. Arch. Zootec. 59(226): 205-216.
- 16) Main RG, Dritz SS, Tokach MD, Goodband RD, Nelssen JL. 2008. Determining an optimum lysine:calorie ratio for barrows and gilts in a commercial finishing facility. J. Anim. Sci. 86:2190-2207.
- 17) Malik G, Hoehler D, Rademacher M, Drew MD, Van Kessel AG. 2009. Apparent absorption of methionine and 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid from gastrointestinal tract of conventional and gnotobiotic pigs. Animal. 3(10):1378–1386.
- 18) Martínez AJA, Figueroa VJL, Cordero MJL, Ruíz FA, Sánchez TMT, Ortega CME Y Narciso GC. 2014. Niveles óptimos biológicos de lisina para cerdos en crecimiento-finalización. Revista Científica. FCV-LUZ. 24(1):64 -72.
- 19) Martínez AM, Figueroa VJL, Trujillo CJE, Zamora ZV, Cordero MJL, Sánchez TMT *et al.* 2009. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína. Vet. Méx. 40(1): 27-38.
- 20) Moughan PJ. 2003. Simulating the partitioning of dietary amino acids: New directions. J. Anim. Sci. 81:60–67.
- 21) National Pork Producers Council. 1991. Procedures to Evaluate Market Hogs. 3rd ed. National Pork Producers Council, Des Moines, IA.
- 22) National Research Council. 2012. Nutrient requirements of swine 11th Ed. National Academy Press, Washington, DC.

- 23) National Research Council. 1998. Nutrient requirements of swine. 10th Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- 24) Nunes CGV, Oliveira RFM, Donzele JL, Siqueira JC, Pereira AA, Silva BAN. 2008. Níveis de lisina digestível para leitões dos 6 aos 15 kg. R. Bras. Zootec. 37:84-88.
- 25) Oliveira ALS, Donzele JL, Abreu MLT, Silva FCO, Oliveira RFM; Ferreira AS *et al.* 2009. Exigência de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 30 aos 60 kg. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim. 10(1):106-114.
- 26) Pena SM, Lopes DC, Rostagno HS, Oliveira SFC, Donzele JL. 2008. Relações metionina mais cistina digestível:lisina digestível em dietas suplementadas com ractopamina para suínos em terminação. R. Bras. Zootec. 37(11):1978-1983.
- 27) Pichardo A, Cervantes RM, Cuca M, Figueroa JL, Araiza AB, Torrentera N *et al.* 2003. Limiting amino acids in wheat for growing-finishing pigs. Interciencia. 28(5):287-291.
- 28) Pink D, Elango R, Dixon WT and Ball RO. 2003. Lysine catabolism in the neonatal piglet during postnatal stages of growth and development. FASEB J. 17:702.
- 29) Reyes I, Figueroa JL, Cobos MA, Sánchez TMT, Zamora V Y Cordero JL. 2012. Probiótico (*enterococcus faecium*) adicionado a dietas estándar y con baja proteína para cerdos. Arch. Zootec. 61(236): 589-598.
- 30) Rocha GC, Lopes DJ, Oliveira RFM, Oliveira SFC, Kiefer C; Alebrante L *et al.* 2013. Lisina digestível para leitoas em fase de crescimento. Ciência Rural. 43(5): 871-877.

- 31) Rostagno HS, Albino LFT, Donzele JL, Oliveira RF, Lopes DC, Ferreira AS *et al.* 2011. Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 252p.
- 32) Santos FA, Donzele JL, Oliveira FCS, Oliveira RFM, Abreu MLT, Saraiva A *et al.* 2011. Levels of digestible methionine+cystine in diets for high genetic potential barrows from 95 to 125 kg. R. Bras. Zootec. 40(3):581-586.
- 33) Santos FA, Donzele JL, Oliveira RFM, Oliveira SFC, Abreu MLT, Saraiva A *et al.* 2007. Exigência de metionina + cistina digestíveis em suínos machos castrados de alto potencial genético na fase dos 60 aos 95 kg. R. Bras. Zootec. 36:2047-2053.
- 34) SAS. 2009. SAS/STAT: User's Guide, 2nd Ed. SAS institute Inc: Cary NC. USA.
- 35) Shoveller AK, Moehn S, Rademacher M, Htoo JK, Ball RO. 2010. Methionine hydroxy analogue was found to be significantly less bioavailable compared to DL-methionine for protein deposition in growing pigs. Animal. 4:61–66.
- 36) Sundrum A, Butterling L, Henning M, Hoppenbrock KH. 2000. Effects of on farm diets for organic pig production on performance and carcass quality. J. Anim. Sci. 78:1199–1205.
- 37) Trujillo CJE, Figueroa VJL, Martínez AM, Zamora ZV, Cordero MJL, Sánchez TMT *et al.* 2007. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. Agrociencia. 41(6): 597-607.
- 38) Vieira SL, Lemme A, Goldenberg DB, and Brugalli I. 2004. Response of growing broilers to diets with increased sulfur amino acids to lysine ratios at two dietary protein levels. Poult. Sci. 83: 1307-1313.

39)Wu G, Wu ZL, Dai ZL, Yang Y, Wang W, Liu C *et al.* 2013. Dietary requirements of nutritionally nonessential amino acids by animals and humans. *Amino Acids.* 44:1107–1113.