



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

AMINOÁCIDOS PROTEGIDOS PARA CERDOS EN ENGORDA

DAVID TRUJANO SAN LUIS

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe, **David Trujano San Luis**, Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. José Luis Figueroa Velasco**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "**Aminoácidos protegidos para cerdos en engorda**", y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución. El Consejero y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Estado de México, a 07 de septiembre de 2018

David Trujano San Luis

Vo. Bo. Dr. José Luis Figueroa Velasco

La presente tesis titulada: “**Aminoácidos protegidos para cerdos en engorda**” realizada por el alumno: **David Trujano San Luis** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO




Dr. José Luis Figueroa Velasco

ASESORA



Dra. María Teresa Sánchez-Torres Esqueda

ASESOR



Dr. José Alfredo Martínez Alsपुर

ASESORA



Dra. María Magdalena Crosby Galván

ASESOR



Dr. Agustín Ruíz Flores

Montecillo, Texcoco, Estado de México, septiembre de 2018

AMINOACIDOS PROTEGIDOS PARA CERDOS EN ENGORDA

David Trujano San Luis, D. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la sustitución de DL-metionina (Met; sintética regular) por metionina protegida (MP) y de L-lisina (sintética regular) por lisina protegida (LP). Se realizaron tres experimentos utilizando distintos niveles y fuentes de metionina y lisina protegida en dietas para cerdos en engorda. En el experimento 1 los tratamientos consistieron en la sustitución gradual de Met regular por MP (0, 25, 50, 75 y 100% de sustitución) en dietas de finalización I (50-75 kg) y finalización II (75-100 kg) evaluando la respuesta productiva, las características de la canal y concentración de urea en plasma (CUP). En finalización I la ganancia diaria de peso (GDP), peso vivo final (PVF) y grasa dorsal (GD) aumentaron linealmente ($P \leq 0.05$), mientras que la conversión alimenticia (CA) disminuyó de manera lineal ($P \leq 0.05$) al incrementarse la MP en la dieta. En finalización II, con la adición de MP se observó un incremento con tendencia lineal ($P \leq 0.10$) en el consumo de alimento (CAL), la CA y el área del músculo *Longuissimus* (AML). La CUP tuvo una tendencia cuadrática ($P = 0.07$) observándose las mayores concentraciones con la adición de MP. En el Experimento 2 los tratamientos consistieron en cuatro niveles (0.00, 0.05, 0.10, 0.15% adicionales al contenido de la dieta) y dos tipos (regular y protegido) de metionina en dietas para cerdos en iniciación, crecimiento, finalización I y finalización II, evaluando la respuesta productiva, características de la canal y CUP. En iniciación y finalización I, la MP incrementó la GDP y ganancia de carne magra (GCM) en finalización I ($P \leq 0.10$). La adición de Met en iniciación (0.15%) y crecimiento (0.05%) mejoró CA; en crecimiento y finalización II, 0.05% Met mejoró GDP ($P \leq 0.10$). En finalización I, la adición de Met redujo la GD con 0.10% y en finalización II (0.05%) mejoró la GCM ($P \leq 0.10$), en crecimiento y finalización II, la adición de 0.10% de Met redujo la CUP ($P \leq 0.10$). En el experimento 3, los tratamientos fueron tres concentraciones de lisina y dos fuentes de lisina (sintética regular y protegida) en las etapas de crecimiento (0.90, 1.0 y 1.10%); finalización I (0.75, 0.85 y 0.95%); y finalización II (0.83, 0.93 y 1.03%; adicionadas con ractopamina) evaluando la respuesta productiva, características de la canal y CUP. En la fase de crecimiento, lisina regular incrementó CAL ($P \leq 0.05$) con 1.1%, GDP fue mayor ($P \leq 0.03$) con

lisina sintética regular, PVF ($P \leq 0.06$) aumentó más con 1.0% lisina regular. El AML ($P \leq 0.03$) y GCM ($P \leq 0.05$) se redujeron con LP en comparación con lisina regular. En finalización I, lisina regular incrementó PVF ($P \leq 0.03$), AML ($P \leq 0.10$) y PCM ($P \leq 0.07$), con los máximos valores para cada variable con 0.95%. En finalización II, con 1.03% LP aumentó PVF ($P \leq 0.009$), CAL ($P \leq 0.08$) y CUP ($P \leq 0.06$) fue menor. Los cerdos responden positivamente a mayores niveles de metionina sintética regular y lisina sintética regular en la dieta; la adición de metionina protegida y lisina protegida mejora el aprovechamiento de los nutrientes reduciendo la concentración de urea en plasma y aumentando la respuesta a algunas variables productivas y de características de la canal de los cerdos en engorda.

Palabras claves: aminoácidos sintéticos, metionina y lisina protegida, comportamiento productivo, características de la canal, cerdos.

PROTECTED AMINOACIDS FOR FATTENING PIGS

David Trujano San Luis, D. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the replacement of DL-methionine (crystalline regular Met) by protected methionine (PM) and L-lysine (crystalline) by protected lysine (PL). Three experiments were conducted using different levels and sources of methionine and lysine in diets for fattening pigs. In Experiment 1, the treatments consisted in the gradual substitution of crystalline regular Met by PM (0, 25, 75 and 100% substitution) in diets for finishing I (50-75 kg) and finishing II (75-100 kg) evaluating the growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration (PUN). In finishing I pigs, the average daily gain (ADG), final body weight (FBW) and backfat thickness (BT) increased linearly ($P \leq 0.05$) while feed gain ratio (FGR) decreased linearly ($P \leq 0.05$) when increasing PM in the diet. In finishing II, the addition of PM tended to linearly increase ($P \leq 0.10$) the average daily feed intake (ADFI), FGR and *Longissimus* muscle area (LMA). The PUN had a quadratic tendency ($P = 0.07$) with the highest concentrations observed with the addition of PM. In Experiment 2, the treatments consisted of four levels of Met (0.00, 0.05, 0.10, 0.15% additional to diets) and two types (crystalline regular and protected) in diets for pig in nursery, growing, finishing I and finishing II phases evaluating the growth performance, carcass characteristics and PUN. In nursery and finishing I pigs, PM increased ADG and lean meat percentage (LMP) in finishing I ($P \leq 0.10$). The addition of Met in nursery (0.15%) and growing (0.05%) improved FGR; in growing and finishing II, 0.05% Met improved ADG ($P \leq 0.10$). In finishing I, the addition of Met reduced the BT with 0.10% and in finishing II, 0.05% improved LMP ($P \leq 0.10$). In growing and finishing II, the addition of 0.10% of Met reduced the PUN ($P \leq 0.10$). In Experiment 3, the treatments were three concentrations of lysine and two sources of lysine (crystalline regular and protected) for growing (0.90, 1.0 1.0%), finishing I (0.75, 0.85 and 0.95%) and finishing II (0.83, 0.93 and 1.03%; ractopamine supplemented) pigs, evaluating the growth performance, the carcass characteristics and PUN. In growing pigs, 1.1% regular lysine increased ADFI ($P \leq 0.05$); ADG was higher ($P \leq 0.03$) with regular lysine; PL increased ADFI ($P \leq 0.05$) compared to regular lysine.

In finishing I pigs, regular lysine increased FBW ($P \leq 0.06$), the increase was higher with 1.0% regular lysine. The LMA ($P \leq 0.03$) and LMP ($P \leq 0.05$) were lower with PL compared with regular lysine. In finishing I, regular lysine increased FBW ($P \leq 0.03$), LMA ($P \leq 0.10$) and LMP ($P \leq 0.07$), the highest values for each variable were observed with 0.95%. In finishing II, 1.03% protected lysine increased FBW ($P \leq 0.009$), ADFI ($P \leq 0.08$) and lowered PUN ($P \leq 0.06$). Pigs respond positively to higher levels of regular crystalline methionine and regular crystalline lysine in the diets; the addition of protected methionine and protected lysine improves the use of nutrients by reducing plasma urea nitrogen concentration and increasing the response of some growth performance and carcass characteristics variables of fattening pigs.

Key words: crystalline amino acids, protected methionine, protected lysine, growth performance, carcass characteristics, pigs.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado.

Al consejo Nacional de la Ciencia y la Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado.

Al Dr. José Luis Figueroa Velasco por orientarme y guiarme en esta experiencia de vida, que me ayuda a ver las cosas de otra manera y el crecimiento profesional y personal.

A todos los integrantes del consejo particular, ya que sin su ayuda y su valioso apoyo nada de esta investigación hubiera sido posible.

Al personal del Colegio de Postgraduados por su ayuda y apoyo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

A mi familia que eres tú Consuelo Margarita Ávila Víctor, por su apoyo, amor, comprensión, cariño, para realizar mi trabajo de Doctorado muchas gracias por todo. Te amo mucho y siempre lo hare.

A mis Padres David Trujano Chavez y Margarita San Luis Rojano por sus sabios consejos.

A mis hermanas Claudia Ivette Trujano San Luis y Elitania Trujano San Luis y sus respectivas familias. Por su apoyo y cariño

A la Familia Ávila Víctor por su confianza, amistad, cariño y sus sabios consejos gracias por todo.

CONTENIDO

| | |
|---|------|
| RESUMEN | iv |
| ABSTRACT | vi |
| AGRADECIMIENTOS | viii |
| DEDICATORIA | ix |
| LISTA DE CUADROS | xiii |
| GLOSARIO – ABREVIATURAS O SIGLAS | xiv |
| INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| 1. OBJETIVOS | 3 |
| 2. HIPÓTESIS | 3 |
| 3. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 3.1 Funciones de los aminoácidos | 4 |
| 3.2 Aminoácidos esenciales | 4 |
| 3.3 Aminoácidos no esenciales | 4 |
| 3.4 Aminoácidos funcionales | 5 |
| 3.5 Metionina | 5 |
| 3.5.1 Funciones biológicas de la metionina | 5 |
| 3.5.2 Características de la metionina | 6 |
| 3.5.3 Importancia de la metionina para cerdos | 6 |
| 3.5.4 Requerimientos de metionina en cerdos | 6 |
| 3.5.5 Efecto de la metionina en la respuesta de los cerdos | 7 |
| 3.6 Lisina | 9 |
| 3.6.1 Funciones biológicas de la lisina | 9 |
| 3.6.2 Características de lisina | 9 |
| 3.6.3 Importancia de la lisina en cerdos | 10 |
| 3.6.4 Requerimientos de lisina para cerdos | 10 |
| 3.6.5 Efecto de la lisina en la respuesta de los cerdos | 11 |
| 3.7 Aminoácidos protegidos-encapsulados | 13 |
| 3.7.1 Definición y antecedentes | 13 |
| 3.7.2 AA protegidos en rumiantes | 14 |
| 3.8 LITERATURA CITADA | 16 |

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO I. EFECTIVIDAD DE METIONINA PROTEGIDA EN DIETAS PARA CERDOS EN FINALIZACIÓN..... | 24 |
| 1.1 RESUMEN | 24 |
| 1.2 ABSTRACT | 25 |
| 1.3 INTRODUCCIÓN | 26 |
| 1.4 MATERIALES Y MÉTODOS | 27 |
| 1.4.1 Análisis de laboratorio | 28 |
| 1.4.3 Análisis estadístico..... | 29 |
| 1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 29 |
| 1.5.1 Finalización I | 29 |
| 1.5.2 Finalización II..... | 30 |
| 1.6 CONCLUSIÓN | 30 |
| 1.7 LITERATURA CITADA..... | 31 |
| CAPÍTULO II. EFFECTIVENESS AND ADEQUATE LEVEL OF PROTECTED METHIONINE IN PIGS DIETS | 39 |
| 2.1 SUMMARY | 39 |
| 2.2 RESUMEN | 40 |
| 2.3 INTRODUCTION | 41 |
| 2.4 MATERIAL AND METHODS | 42 |
| 2.4.1 Pigs and experimental design | 42 |
| 2.4.2 Diets and general management of pigs..... | 42 |
| 2.4.4 Statistical analysis | 43 |
| 2.5 RESULTS AND DICUSSION | 43 |
| 2.6 CONCLUSION..... | 46 |
| 2.7 REFERENCES | 46 |
| CAPÍTULO III. EFECTO DE LISINA PROTEGIDA EN DIETAS PARA CERDOS EN ENGORDA | 55 |
| 3.1. RESUMEN | 55 |
| 3.2. ABSTRACT | 56 |
| 3.3. INTRODUCCIÓN | 57 |
| 3.4. MATERIALES Y MÉTODOS | 58 |

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 3.4.1 | Localización | 58 |
| 3.4.2 | Tratamientos | 58 |
| 3.4.3 | Animales y diseño estadístico | 59 |
| 3.4.4 | Variables de respuesta | 59 |
| 3.4.5 | Análisis de laboratorio | 59 |
| 3.4.6 | Análisis estadístico..... | 60 |
| 3.5. | RESULTADOS | 60 |
| 3.5.1 | Crecimiento..... | 60 |
| 3.5.2 | Finalización I | 60 |
| 3.5.3 | Finalización II..... | 61 |
| 3.6. | DISCUSIÓN..... | 61 |
| 3.6.1 | Crecimiento..... | 61 |
| 3.6.2 | Finalización I | 62 |
| 3.6.3 | Finalización II..... | 62 |
| 3.7. | CONCLUSIONES | 63 |
| 3.8. | LITERATURA CITADA..... | 63 |
| | CONCLUSIÓN GENERAL..... | 74 |

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO I

| | |
|--|----|
| Cuadro 1.1. Dietas experimentales para cerdos en finalización I (50-75 kg de peso)..... | 35 |
| Cuadro 1.2. Dietas experimentales para cerdos en finalización II (75-100 kg de peso)..... | 36 |
| Cuadro 1.3. Respuesta de cerdos en finalización I (50-75 kg de peso) alimentados con cinco niveles de metionina protegida. | 37 |
| Cuadro 1.4. Respuesta de cerdos en finalización II (75-100 kg de peso) alimentados con cinco niveles de metionina protegida. | 38 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|----|
| Table 2.1. Composition of experimental basal diets for pigs fed with four levels and two types of methionine. | 50 |
| Table 2.2. Growth performance of nursery pigs fed with four levels and two types of methionine. | 51 |
| Table 2.3. Growth performance of growing pigs fed with four levels and two types of methionine. | 52 |
| Table 2.4. Growth performance of finishing I pigs fed with four levels and two types of methionine. | 53 |
| Table 2.5. Growth performance of finishing II pigs fed with four levels and two types of methionine. | 54 |

CAPITULO III

| | |
|--|----|
| Cuadro 3.1. Dietas experimentales para cerdos en crecimiento. | 68 |
| Cuadro 3.2. Dietas experimentales para cerdos en finalización I. | 69 |
| Cuadro 3.3. Dietas experimentales para cerdos en finalización II. | 70 |
| Cuadro 3.4. Crecimiento comportamiento productivo y características de la canal con tres niveles y dos fuentes de lisina. | 71 |
| Cuadro 3.5. . Finalización I comportamiento productivo y características de la canal con tres niveles y dos fuentes de lisina. | 72 |
| Cuadro 3.6. Finalización II comportamiento productivo y características de la canal con tres niveles y dos fuentes de lisina. | 73 |

GLOSARIO – ABREVIATURAS O SIGLAS

AA = Aminoácidos

AAE = Aminoácidos esenciales

AAE = Aminoácidos no esenciales

CA = Conversión alimenticia

CAL = Consumo de alimento

AML = Área del músculo *Longissimus*

PCM = Porcentaje de carne magra

GCM = Ganancia de carne magra

GD = Grasa dorsal

GDP = Ganancia diaria de peso

CUP = Concentración de urea en plasma

MP = Metionina Protegida

LP = Lisina Protegida

INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de cerdos no sólo ha avanzado en la obtención de líneas genéticas con mayores índices de conversión de alimento, sino también en el avance genético para producir cerdos con canales más magras, lo que ha conducido a determinar los requerimientos nutricionales para esa característica deseada (Andretta *et al.*, 2012). La constante mejora en la eficiencia alimenticia, de la capacidad de mayor crecimiento, y de la menor adiposidad en la canal, ha conducido a la realización de mucha investigación, que se publica incesantemente, sobre nutrición porcina, por muchos investigadores de diferentes universidades y centros de investigación relacionados con la nutrición y la alimentación de cerdos.

Asimismo, se ha tratado de disminuir la emisión de compuestos nitrogenados al ambiente, generados por la producción porcina, a consecuencia del uso ineficiente de la proteína de la dieta, lo que puede reducirse con la adición de aminoácidos (AA) sintéticos a las dietas de cerdos, que puede resolver el problema de la deficiencia y el exceso de estos, reduciendo la excreción del nitrógeno y la contaminación ambiental (Gloaguen *et al.*, 2014).

Por otra parte, las necesidades de AA para la producción en cerdos están influenciadas por factores como la capacidad genética para la síntesis de proteína corporal, el sexo y la edad del animal (NRC, 1998). Lisina (Lis) es el primer AA esencial para el cerdo y el primer AA limitante en los ingredientes más utilizados en su alimentación; metionina (Met) es generalmente el segundo o tercer AA esencial para estos animales en todas las etapas del ciclo productivo y el segundo o tercer AA limitante en los ingredientes. Por lo anterior, es indispensable incluirlos en la dieta de fuentes sintéticas cuando los ingredientes principales no cubren el requerimiento; por ello, es importante determinar el porcentaje adecuado de inclusión para evitar desbalances que puedan afectar la síntesis de proteína (NRC, 2012) y la respuesta productiva en general.

En algunos estudios (Shen *et al.*, 2014; Kong *et al.*, 2016) realizados para comparar la biodisponibilidad y bioeficacia de isómeros D- y L-Met sintética para cerdos, los resultados son inconsistentes en cuanto al crecimiento y conversión alimenticia. Dicha inconsistencia se atribuye a que los AA sintéticos libres, en comparación con los AA unidos a proteínas, son muy sensibles a las condiciones ácidas del estómago y se absorben rápidamente en el

tracto digestivo (Sato *et al.*, 1984; Stein *et al.*, 2007), lo cual tiene efectos adversos en la eficiencia metabólica.

Por otra parte, cuando se utilizan dietas con baja proteína para cerdos con adición de AA sintéticos, se ha observado mayor adiposidad en la canal, resultado de que los AA sintéticos se absorben a nivel intestinal antes que los AA provenientes de la proteína de los ingredientes, por lo que su aprovechamiento es menor, aunque la respuesta productiva no se afecta (Figuroa *et al.*, 2002).

Es por ello que los AA protegidos, capaces de resistir las condiciones estomacales y permitir una lenta liberación intestinal, pueden ayudar a superar las limitaciones mencionadas anteriormente (Piva *et al.*, 2007). Estos AA se utilizaron primeramente en rumiantes, con el fin de sobrepasar las condiciones del rumen y que sean aprovechados directamente por el animal en el intestino delgado. Entre los AA protegidos disponibles comercialmente se encuentran la lisina y la metionina. El uso de AA protegidos en la dieta ha tenido buenos resultados en mejorar los parámetros productivos en rumiantes (Ali *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2012; Zanton *et al.*, 2014). En el caso de los cerdos, el uso de lisina protegida en comparación con HCL-lisina aumenta la biodisponibilidad de este AA; con lo cual se puede reducir el contenido de PC y de AA sintéticos en la dieta, además de reducir la excreción de N en el estiércol sin afectar negativamente el crecimiento y las características de la canal de cerdos en finalización (Prandini *et al.*, 2013). Sin embargo, no se encontró información publicada sobre el uso de otros AA protegidos (aparte de lisina) en animales no rumiantes. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de sustituir DL-Met sintética regular por DL-Met protegida y L-Lis sintética regular por L-Lis protegida sobre variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en finalización.

1. OBJETIVOS

-Evaluar los efectos del nivel y tipo de metionina sobre variables de respuesta productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en finalización I y finalización II, alimentados con dietas con base en sorgo-pasta de soya manteniendo constantes las relaciones de treonina lisina y metionina.

-Determinar el nivel y el tipo de metionina para mejorar o mantener: las variables de respuesta productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación, crecimiento, finalización I y finalización II alimentados con dietas con base sorgo-pasta de soya manteniendo constantes las relaciones de treonina lisina, metionina, triptófano.

-Determinar el nivel y el tipo de lisina para mejorar o mantener: las variables de respuesta productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento, finalización I y finalización II alimentados con dietas con base sorgo-pasta de soya manteniendo constantes las relaciones de treonina lisina, metionina y triptófano.

2. HIPÓTESIS

La respuesta productiva, características de la canal; y concentración de urea en plasma en cerdos mejoran al utilizar metionina sintética protegida comparada con metionina sintética regular.

La respuesta productiva, características de la canal, y concentración de urea en plasma en cerdos mejoran al utilizar lisina sintética protegida comparada con lisina sintética regular.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

Los aminoácidos (AA) son sustancias orgánicas que tienen un carbón central alfa, están unidos covalentemente a un grupo amino (-NH₂-) y a un grupo carboxilo (-COOH+), a un átomo de hidrógeno y a un grupo R o cadena lateral (Wu, 2009). Al formar cadenas de dos o más AA dan lugar a péptidos; que a su vez se unen y forman las proteínas (Devlin, 2008). Los AA se necesitan para el crecimiento, desarrollo, reproducción, salud e inmunidad; así como para la sobrevivencia de todos los organismos (Wu *et al.*, 2013).

3.1 Funciones de los aminoácidos

Los AA son necesarios para el crecimiento y desarrollo del feto y del neonato; participan directamente en la señal celular (Wu, 2009), el metabolismo y nutrientes específicos de la célula (Jobgen *et al.*, 2006), el estrés oxidativo (Galli, 2007), la eficiencia y utilización de la proteína (Wang *et al.*, 2008), la regulación de la homeostasis de los radicales libres (Wu, 2013) y el desarrollo embrionario, fetal y de la placenta durante la preñez en cerdos (Wu, 2009).

3.2 Aminoácidos esenciales

Los AA esenciales (AAE) son aquellos cuyos esqueletos de carbono no se sintetizan en la célula animal, por tanto, deben obtenerse de la dieta (Mitsuhashi, 2014). Los AAE para el cerdo son: arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina (NRC, 2012).

Una dieta deficiente en un AAE conduce a un equilibrio negativo del nitrógeno, al ser degradadas proteínas del organismo para suministrar el AAE deficitario y ser metabolizados los 19 AA restantes liberados por la degradación de proteína corporal (Devlin, 2008).

Entre otras funciones, los AAE activan la rapamicina en la célula (mTOR) para estimular la síntesis de proteína e inhibir la proteólisis intracelular (Li *et al.*, 2007).

3.3 Aminoácidos no esenciales

Los AA no esenciales (AANE) se sintetizan en la célula animal; el organismo es capaz de producir sus propios AA a partir de precursores (Lupi *et al.*, 2008). Los AANE para el

cerdo son: alanina, asparragina, ácido aspártico, cisteína, ácido glutámico, glutamina, glicina, prolina, serina y tirosina (NRC, 2012). Los AANE: desempeñan un papel importante en la regulación de la expresión génica (Wu *et al.*, 2011) y niveles micro-RNA (Liu *et al.*, 2012), participan en la señalización celular (Jewell *et al.*, 2013), el flujo sanguíneo (Tan *et al.*, 2012), metabolismo y transporte de nutrientes en la célula animal (Suryawan *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2013), el desarrollo de la grasa café (Wu *et al.*, 2013), el crecimiento y desarrollo de la flora intestinal (Dai *et al.*, 2012), la respuesta anti-oxidante así como en la respuesta inmune de las células (Ren *et al.*, 2012).

3.4 Aminoácidos funcionales

Wu (2010) propuso el concepto de aminoácidos funcionales (AAF), que se definen como aquellos AA que participan y regulan las vías metabólicas, para mejorar la salud, supervivencia, crecimiento, desarrollo, lactancia y la reproducción de los organismos. Los AAF pueden ser nutricionalmente "esenciales" o "no esenciales" (Wu, 2013). Los AAF consideran las funciones metabólicas: prevención y tratamiento de enfermedades metabólicas (obesidad, diabetes y trastornos cardiovasculares), enfermedades infecciosas y virales (Wu, 2009).

3.5 Metionina

La metionina es un AAE hidrófobo, no polar, glucogénico, usualmente es el segundo o tercero limitante en ingredientes utilizados para elaborar dietas para cerdos (Jankowski *et al.*, 2014).

3.5.1 Funciones biológicas de la metionina

La metionina y la cisteína son dos AA que contienen azufre y participan en la síntesis proteica, determinan el porcentaje de alimento que va a utilizarse a nivel celular, son esenciales para la vida. La metionina es un precursor del succinil-Co-A y de S-adenosil metionina (SAM), que sirve como donador de grupos metilo y está involucrado en la síntesis de compuestos intermedios con el ácido lipoico o la síntesis de poliaminas, cisteína, creatina y carnitina. La N-formilmetionil-Trna (FMET) inicia la biosíntesis de la proteína en todas las células del organismo, incluyendo las células del sistema inmune (Devlin, 2008).

3.5.2 Características de la metionina

La metionina contiene una cadena lateral alifática larga que incluye un grupo tioéter. La cadena lateral incluye un centro quiral adicional, que sólo se encuentra en las proteínas. Además de ser hidrofóbicas, tienden a agruparse entre ellas en vez de establecer contacto con el agua (Nelson y Cox, 2014). La estructura tridimensional de las proteínas solubles en agua, se estabiliza por esta tendencia de los grupos hidrofóbicos; a esto se le llama efecto hidrofóbico (Berg *et al.*, 2007). Existen dos isómeros: D- y L-metionina, de las cuales la forma L-metionina predomina en la naturaleza, aunque ambas formas pueden ser metabolizadas por los animales (D'Mello y Lewis, 2003). La DL-metionina, producida principalmente por síntesis química a partir de metilmercaptano, acroleína, amoníaco e hidrógeno, es un producto sólido comercial que contiene 99% de metionina (Pack, 2004).

3.5.3 Importancia de la metionina para cerdos

La metionina tiene una función importante en el cuerpo: en la síntesis de proteína y la producción de otros AA azufrados (cistina y cisteína), que participan de manera indirecta en la metilación y la transulfuración (Troen *et al.*, 2003). Los AA azufrados son precursores de carnitina y glutatión; estos compuestos ayudan a proteger a las células del estrés oxidativo (Li *et al.*, 2007). Desde el punto de vista nutricional, la metionina se clasifica como AAE para animales y humanos, con base en evaluación de resultados del crecimiento o de balance de nitrógeno, donde la cisteína se clasifica como semiesencial, porque se puede sintetizar a partir de metionina (Wu, 2010). En cerdos recién nacidos la transmetilación y la transulfuración se realiza en el tracto digestivo (Riedijk *et al.*, 2007).

3.5.4 Requerimientos de metionina en cerdos

El requerimiento de metionina depende del estado fisiológico, la etapa de desarrollo o productiva, el medio ambiente, el estado de salud en general y de la salud intestinal (Wu *et al.*, 2013). El NRC (2012) recomienda la siguiente concentración de metionina por etapa de crecimiento: 11-25 kg de peso vivo, 0.40%; 25-50 kg, 0.32%; 50-75 kg, 0.28%; 75-100 kg, 0.25%. Por otra parte, Rostagno *et al.*; (2017) sugieren una concentración de metionina en la dieta, también por rango de peso, como sigue: 15-30 kg de peso vivo, 0.33%; 30-50 kg, 0.29%; 50-70 kg, 0.25%; 70-100 kg, 0.22%; 100-125 kg, 0.19%. La Federación Española

para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA; 2008) recomienda: 18-20 kg, 0.28%; 20-60 kg, 0.25-0.29%; 60-100 kg, 0.22-0.23%; arriba de 100 kg, 0.19%. Como se observa, las sugerencias difieren, esto es por las condiciones y variables utilizadas para establecer los requerimientos por las instituciones o autores mencionados.

3.5.5 Efecto de la metionina en la respuesta de los cerdos

3.5.5.1 Respuesta productiva

Cuando se adicionan diferentes niveles de metionina proveniente de varias fuentes, se mejora el comportamiento productivo: hay una mejor eficiencia alimenticia, se incrementa el consumo de alimento (CAL) y una mayor ganancia de peso (Remus *et al.*, 2015). En cerdos alimentados con altos niveles de metionina aumentó el consumo de alimento, y con ello, el consumo de metionina, mostrando un mejor desempeño productivo (Knight *et al.*, 1998).

Por otro lado, el desequilibrio de AA causado por una deficiencia o exceso (Metionina + cistina digestible ileal) en la dieta, no influyó negativamente en el CAL, a pesar de los diferentes niveles (0.37-0.67%) evaluados (Sangali *et al.*, 2017). Ello indicaría cierta tolerancia a niveles deficientes o excesivos de metionina, sin afectar el consumo de alimento.

La ganancia diaria de peso (GDP) es un indicador productivo para las granjas porcícolas, por lo que, al adicionar varias dosis de metionina en la dieta y que los animales pudiesen seleccionar el alimento que consumían, los lechones eligieron la dieta más acorde con sus necesidades de este aminoácido (Ettle *et al.*, 2010). Lo anterior se explica porque los cerdos cuentan con alrededor de 5,000 papilas gustativas fungiformes (Chamorro *et al.*, 1993) que les permiten consumir alimento de su preferencia, lo que se tradujo en mejor GDP (479 g) y mejor conversión alimenticia (1.48) comparada con cerdos a los que no se les suministró metionina en la dieta, cuya respuesta productiva fue menor (GDP, 347 g; conversión alimenticia, 1.66). Por otra parte, la deficiencia de metionina puede limitar el rendimiento máximo de los animales.

La suplementación con DL-metionina (0.3-0.9%) aumentó la GDP (415-486 g) de manera lineal, mientras que el rendimiento mayor se logró con el nivel más alto de metionina

(0.9%) en cerdos destetados (Santos *et al.*, 2018). En cerdos en crecimiento alimentados con hojas de yuca, suplementada con DL-metionina, la GDP y CA mejoraron de manera lineal ($P < 0.001$) conforme aumentó la concentración de metionina (Hang *et al.*, 2009).

3.5.5.2 Características de la canal

El área del músculo *Longissimus* (AML) se utiliza para evaluar la calidad de la canal, ya que está directamente relacionada con la cantidad de grasa y carne magra que se retiene en el animal; así, entre mayor AML, se deposita menos grasa por el uso más eficiente de la energía y por consiguiente, mayor deposición de tejido magro (NPPC, 1991). Por otra parte, la mejora genética de los cerdos ha permitido que éstos depositen más tejido magro y menos grasa dorsal y en la canal (Cline *et al.*, 2000).

Los niveles de metionina afectan directamente el crecimiento y la calidad de la canal (Blachier *et al.*, 2013). El rendimiento y características de la canal de cerdos en crecimiento alimentados con tres niveles de DL-metionina (0.0, 0.1 y 0.2, %) difirieron significativamente; la GD (3.24, 2.90 y 2.66 mm, respectivamente) disminuyó a medida que aumentó el nivel de metionina, mientras que el AML (27.8, 27.2 y 27.6 cm²) se mantuvo constante (Hang *et al.*, 2009).

3.5.5.3 Efecto en la concentración de metabolitos sanguíneos

Cuando se proporcionan diferentes concentraciones de metionina en la dieta para cerdos en iniciación, utilizando dos fuentes de metionina (0.03, 0.06 y 0.09%; DL-metionina sintética; 0.034, 0.068 y 0.102%; metionina hidroxianáloga, ácido libre en forma líquida (MHA-FA) se disminuyó el nitrógeno ureico en plasma con DL-metionina sintética (8.17, 6.83, 6.33 mg dL⁻¹) y con MHA-FA (6.83, 5.83, 5.33 mg dL⁻¹), esto es, a mayor contenido de metionina se reduce la concentración de urea en plasma (CUP), independientemente de la fuente de metionina (Feng *et al.*, 2006). Por otra parte, cuando se proporciona este AA como L-metionina o DL-metionina al mismo porcentaje de inclusión (0.048, 0.096 y 0.144%) en cerdos al destete, la CUP disminuyó (3.0, 2.38, 1.50 mg dL⁻¹, con L-metionina; y 2.71, 2.50, 2.62 mg dL⁻¹, con DL-metionina), lo que sugiere que es el nivel de metionina y no la fuente o el tipo de AA el que reduce la concentración de urea en plasma (Shen *et al.*, 2014).

3.6 Lisina

La lisina es el primer AAE limitante en los ingredientes comúnmente utilizados para elaborar dietas para cerdos. Este AA se utiliza ahora como base para formular dietas para cerdos (en sustitución del nivel de proteína cruda, antes considerado como criterio de formulación de alimento), atendiendo los valores de lisina recomendados por el NRC (2012). Este AAE, es necesario para el crecimiento, desarrollo, rendimiento, características de la canal y procesos fisiológicos del organismo (Corassa *et al.*, 2013). Un nivel adecuado de lisina facilita la digestión y la utilización de todos los nutrientes, lo que puede impactar positivamente porque reduce la excreción de compuestos nitrogenados y fosforados al medio ambiente.

3.6.1 Funciones biológicas de la lisina

La lisina, junto con otros AA, interviene en diversas funciones, incluyendo: síntesis de proteína corporal, reparación de tejidos, síntesis de anticuerpos del sistema inmunológico, síntesis de hormonas, protección intestinal de cerdos, etc. La lisina puede afectar el metabolismo animal de otros nutrientes, la producción de hormonas y la inmunidad (Wu, 2010; Wu, 2013). También participa en la regulación-síntesis de óxido nítrico, actividad antiviral, metilación de la proteína, acetilación, estructura y función de colágeno (Wu, 2009).

La lisina es precursor de la acetoacetil-CoA, carnitina y cadaverina. La carnitina es un metabolito con funciones fisiológicas adicionales para proteger a los organismos del estrés oxidativo y la oxidación del tejido adiposo café; también participa en el transporte de ácidos grasos de cadena larga del citosol a la matriz de la mitocondria, donde ocurre la beta-oxidación, un mecanismo importante para la producción de ATP en tejidos sensibles a la insulina como: músculo esquelético, corazón, hígado y tejido adiposo café. Asimismo, mejora el desempeño y regula el reparto de energía en el cuerpo (Berg *et al.*, 2007); y normaliza el colesterol sanguíneo y las concentraciones de triglicéridos.

3.6.2 Características de lisina

La lisina es un AA catiónico o básico; su metabolismo en el organismo se inicia desde su absorción intestinal, principalmente a través de un sistema de transporte dependiente de

Na⁺ (Nelson y Cox, 2014). Tiene cadenas laterales relativamente largas que acaban en grupos cargados positivamente a pH neutro. La lisina está rodeada por un grupo amino primario (Berg *et al.*, 2007); el grupo R contiene 1 o 2 átomos de nitrógeno que actúan de base al unir un protón; la cadena lateral es la N-butilamina; es un AA totalmente cetogénico. Los carbonos derivados de su metabolismo (degradación) entran en el metabolismo intermediario en forma de acetyl-CoA o acetoacetyl-CoA. La lisina posee un grupo amino ϵ y uno α , la transaminación inicial del grupo ϵ -amino requiere α -cetoglutarato como aceptor co-sustrato. En lugar del mecanismo del tipo piridoxal fosfato-base de Schiff, se forma un intermediario denominado sacaropina (Devlin, 2008).

3.6.3 Importancia de la lisina en cerdos

La lisina es sumamente importante en la alimentación de cerdos, ya que es el primer AAE limitante en los cereales comúnmente utilizados en la alimentación porcina (NRC, 2012). En experimentos con cerdos, la suplementación con lisina aumentó la retención de nitrógeno y la síntesis proteica, mejorando el rendimiento de los animales (Shelton *et al.*, 2011). El aumento de proteína muscular se debe a una mayor tasa de síntesis, lo que realiza por mecanismos metabólicos y moleculares, por los cuales la lisina regula la acumulación de la masa muscular en los cerdos (Wu, 2010). También funciona como sustrato para la generación de numerosas moléculas no peptídicas que incluyen sustancias nitrogenadas de bajo peso molecular (carnitina, poliaminas, amoniaco y urea). Cada uno de estos metabolitos tiene importancia bioquímica y fisiológica específica para los procesos metabólicos del animal (Wu, 2009). Una deficiencia de lisina puede reducir la expresión de transportadores de AA en el intestino delgado (He *et al.*, 2013). Por otra parte, el nivel de lisina en la dieta puede afectar la digestibilidad aparente de los nutrientes, lo que se ha observado en cerdos en finalización (Wang *et al.*, 2012).

3.6.4 Requerimientos de lisina para cerdos

El requerimiento de lisina para cerdos depende de: etapa fisiológica, sexo del animal, peso vivo o etapa productiva, estado de salud y en ocasiones, se incluyen las condiciones del medio ambiente donde se encuentra la explotación (sobre todo la temperatura ambiental, que afecta el consumo de alimento). En este sentido, existe una gran variación entre fuentes

de información con respecto a los niveles recomendados (NRC, 2012). Incluso, la mejora genética para mayor crecimiento ha influido en los requerimientos de nutrientes, ya que a mayor tasa de crecimiento mayor la concentración de AA que debe incluirse en el alimento, especialmente lisina, para una respuesta óptima. Por ejemplo, para cerdos de 80-120 kg de peso, se recomendaban 0.52% de lisina digestible (NRC, 1998). Actualmente, el nivel de lisina digestible ileal estandarizada recomendada por el NRC (2012) es 0.73%. Para otras etapas, el NRC (2012) sugiere 1.23% de lisina digestible ileal estandarizada para cerdos de 11-25 kg de peso vivo; 25-50 kg, 0.98%; 50-75 kg, 0.85%; 75-100 kg, 0.73%. Por otra parte, Rostagno *et al.*, (2017) establecieron un nivel de lisina para cerdos de 15-30 kg de peso vivo, de 1.12%; de 30-50 kg, 0.96%; de 50-70 kg, 0.84%; de 70-100 kg, 0.73%; de 100-125 kg, 0.63%. El FEDNA (2008) recomienda para cerdos de 18-20 kg, de peso vivo, 0.91%; de 20-60 kg, 0.86-0.90%; de 60-100 kg, 0.72-0.76%; y por arriba de 100 kg, 0.60%.

3.6.5 Efecto de la lisina en la respuesta de los cerdos

3.6.5.1 Respuesta productiva

En la industria porcícola, la deficiencia de lisina en la dieta afecta negativamente el crecimiento de los animales, el rendimiento de la canal, y disminuye la ganancia diaria de peso (GDP) e incrementa el consumo de alimento (CAL) (Roy *et al.*, 2000). Cerdos en finalización alimentados con dietas deficientes o ajustadas al requerimiento de lisina (NRC, 2012), muestran que el nivel de este AA en la dieta no afecta el CAL y GDP (Jin *et al.*, 2010). En otros estudios se observaron variaciones significativas en GDP y CAL al incrementar los niveles de lisina en la dieta (Shelton *et al.*, 2011); no obstante, la respuesta podría también estar influenciada por los ingredientes utilizados en la elaboración del alimento. Para la conversión alimenticia (CA) se ha encontrado (Ettle *et al.*, 2003; Rostagno *et al.*, 2017) que existen factores genéticos, condiciones ambientales, tipo y calidad de la materia prima que afectan a esta variable.

3.6.5.2 Características de la canal

La concentración de lisina en el alimento afecta el contenido de proteína y de tejido adiposo en la canal. Al aumentar el nivel de lisina en la dieta se incrementó la retención de proteína en la canal de cerdos en crecimiento (Fontes *et al.*, 2000). Por otro lado, Cline *et al.* (2000) observaron que niveles altos de lisina en la dieta (1.15 y 1.40%) provocaron mayor depósito

de grasa en los cerdos; lo que también ocurre con niveles bajos de lisina, ya que también aumentan el grosor de la grasa dorsal (Bidner *et al.*, 2004), mientras que se reduce el AML y el peso final de los cerdos alimentados con dietas deficientes en lisina (Tous *et al.*, 2014). Otro factor que también altera las características de la canal es la relación lisina:energía en el alimento. Dietas con alta densidad energética y bajo porcentaje de lisina aumentan el contenido de grasa en la canal de cerdos en finalización (Jin *et al.*, 2010), mientras que en cerdos alimentados con dietas de bajo contenido de energía y lisina en esta etapa, incrementa la deposición de la grasa dorsal e intramuscular en la canal (Zhang *et al.*, 2008). El contenido de grasa en la canal de cerdos alimentados con una dieta con 0.48% de lisina aumentó 0.55 mm comparada con el de animales alimentados con una dieta con 0.64% de lisina cuando el nivel de proteína cruda (10.35%) fue el mismo (Witte *et al.*, 2000). El nivel óptimo de lisina digestible para cerdos en crecimiento fue 0.83%, si se elabora alimento con un valor superior no mejora las características de la canal (Gutiérrez-Hernández *et al.*, 2016).

3.6.5.3 Efecto en la concentración de metabolitos sanguíneos

En animales que se alimentan con niveles más altos de un AA, la concentración de ese AA en plasma aumenta de manera rápida y aproximadamente lineal. En algunos casos, una alta concentración de un AA se asocia con una disminución en otros (Roy *et al.*, 2000; Barea *et al.*, 2009). Un estudio en ratas mostró que la deficiencia de AA en la dieta puede afectar los perfiles plasmáticos de AA, por lo cual la lisina se encuentra en determinado nivel, afecta o beneficia el metabolismo de los otros AA (Regmi *et al.*, 2016). Por otro lado, los perfiles plasmáticos de AA en cerdos en crecimiento, alimentados con dietas deficientes, adecuadas o con exceso de lisina, la concentración plasmática de lisina aumentó, mientras que las concentraciones de isoleucina, taurina, treonina y valina disminuyeron conforme aumentó la concentración de lisina en la dieta. Asimismo, la concentración de histidina disminuyó y la de serina aumentó en cerdos alimentados con una dieta deficiente en lisina. Los demás AA no fueron afectados por el nivel de lisina en la dieta (Roy *et al.*, 2000). La lisina también altera la concentración plasmática de algunas hormonas relacionadas con la síntesis de proteína, como el factor de crecimiento tipo insulínico I (FCI-I). En lechones alimentados con dieta baja en lisina (0.7% lisina), el nivel de FCI-I en plasma fue 52% menor que en los cerdos alimentados con la dieta testigo (1.15% de lisina), aunque no hubo

diferencia en el ARNm de FCI-I hepático entre los dos grupos (Katsumata *et al.*, 2002). En otros estudios con cerdos en crecimiento, la lisina no tuvo influencia en las concentraciones plasmáticas de hormona de crecimiento (HC) e FCI-I (Roy *et al.*, 2000).

La CUP es un indicador de respuesta rápida a cambios en el nivel de AA, ya que es muy sensible a alteraciones en la dieta (Coma *et al.*, 1995). Niveles altos de CUP, por arriba de 30 mg dL⁻¹, indican desbalances entre AA, por deficiencia o exceso de uno o más AA. Esta información ayuda a tomar decisiones precisas del requerimiento de cada AA en las dietas que se ofrecen a cerdos de distintas etapas, desde iniciación hasta finalización, y a su vez monitorear el desempeño de los cerdos con un nivel proteico determinado en la dieta; mientras que niveles por abajo de 10 mg dL⁻¹ de CUP indican mejor aprovechamiento de los AA por el animal (Trujillo-Coutiño *et al.*, 2007). Por otro lado, cuando aumentó la concentración de AA sintéticos en la dieta, aumentó la CUP (Figueroa *et al.*, 2012). Gutiérrez-Hernández *et al.* (2016) encontraron que la CUP disminuyó al agregar dos combinaciones de niveles de lisina y treonina en dietas para cerdos en crecimiento; los valores más bajos (18.12 mg dL⁻¹) se observaron con 0.83% de lisina y 0.52% de treonina y los más altos (21.46 mg dL⁻¹) con 0.93% de lisina y 0.52% de treonina.

3.7 Aminoácidos protegidos-encapsulados

3.7.1 Definición y antecedentes

La encapsulación es la tecnología de empaquetamiento de sólidos y líquidos, con materiales de recubrimiento de distinta naturaleza, para dar lugar a cápsulas de tamaño micrométrico que pueden liberar su contenido de manera controlada bajo condiciones específicas; los productos resultantes se denominan macropartículas, microcápsulas o microesferas (Champagne y Fustier, 2007). La industria de nutrición animal ha incorporado en sus procesos esta tecnología. La aplicación de estas técnicas representa una herramienta potencial para mejorar la salud y asegurar una adecuada calidad biológica de los productos destinados al consumo animal. La técnica de encapsulación, permite la lenta liberación de los compuestos a lo largo del intestino, lo que les permite llegar a la parte distal del intestino delgado en cantidades apreciables y eficaces (Piva *et al.*, 2007), genera reducción de su reactividad con el ambiente durante el paso por el tracto gastrointestinal en no rumiantes y una especie de sobrepaso ruminal en rumiantes. En nutrición animal ha

permitido la entrega de moléculas bioactivas de rápida degradación como: antioxidantes, minerales, vitaminas, ácidos grasos, prebióticos, aminoácidos, enzimas, entre otras; y de células vivas como probióticos, a través del alimento, agua de bebida o suplementación oral, cuyo principal objetivo es la protección de estas moléculas y células intestinales, así como la entrega controlada a un sitio específico del tracto gastrointestinal (Nedovic *et al.*, 2011).

La tecnología de encapsulación o protección ha sido tema de estudio para los AA. Los AA azufrados y lisina son de los más estudiados por ser AAE para los animales productivos (Rossi *et al.*, 2003); la metionina y lisina son los primeros AA limitantes en la mayoría de los ingredientes utilizados para la alimentación de los cerdos y de otras especies, por lo que los AA protegidos son una opción que permite aumentar el flujo de ellos cuando los animales se alimentan con dietas basadas en maíz-pasta de soya (Berthiaume *et al.*, 2001).

La encapsulación de AA azufrados también se ha probado para la producción de animales que producen pelo o lana, los cuales presentaron un aumento de la fibra post-suplementación (Mata *et al.*, 1995). En la literatura existe información del efecto de AA protegidos en el consumo de alimento, la digestión, y el comportamiento productivo de rumiantes (Ali *et al.*, 2009). El uso de lisina encapsulada permite sobrepasar las condiciones ácidas del estómago y esto hace que la lisina encapsulada llegue íntegra al intestino delgado y, a su vez, que sea absorbida en el duodeno (Piva *et al.*, 2007; Prandini *et al.*, 2013).

3.7.2 AA protegidos en rumiantes

En nutrición animal existe un AA para cada función fisiológica, genética y nutritiva (NRC, 2001). En bovinos lecheros, la metionina y la lisina son esenciales para la producción y calidad de la leche. Además, se requieren de ocho AA para mantenimiento y propósitos productivos (histidina, leucina, isoleucina, valina, metionina, treonina, triptófano, y fenilalanina) (D'Mello y Lewis, 2003). A los no rumiantes se les proporcionan en la dieta; en los rumiantes vienen de dos fuentes: de la dieta y de la microflora ruminal. Sin embargo, ésta es insuficiente para cubrir los requerimientos de vacas altas productoras. La absorción de AA, que proviene de la proteína de sobrepaso, nitrógeno endógeno y la síntesis de proteína microbiana, es esencial para la síntesis de tejido, proteína láctea y otros

metabolitos (NRC, 2001). Sin embargo, existe una alternativa: el uso de aminoácidos protegidos (AAP) en el rumen, porque la proteína de la dieta y el AA sintético se degradan en gran medida por los microorganismos ruminales. La necesidad de evitar la degradación de los AA a nivel ruminal de manera que impacten a nivel intestinal, ha llevado al desarrollo de diversas tecnologías de protección de AA, con una matriz de naturaleza polimérica formando micropartículas, microesferas y microencapsulación; el objetivo es proteger al núcleo, proveer liberación de los materiales activos de manera controlada y prolongada en un sitio específico del organismo bajo ciertas condiciones (De Vos *et al.*, 2010). Sin embargo, esto ha enfrentado algunas dificultades, ya que hay falta de resistencia de los productos encapsulados y la reactividad de algunos AA con recubrimiento inestable. Lo anterior provoca la ruptura de las partículas en el rumen después de la masticación, sumada a las inconsistencias de la degradación postruminal del polímero (Robinson, 2010). La adición de AA sintéticos a la dieta de rumiantes no garantiza su total absorción a nivel intestinal, ya que una porción de éstos se degradará en el rumen. Los análogos de la metionina, una vez adicionados e ingeridos, un 60 % se utilizarán en el rumen, donde se estimulará la síntesis de proteína microbial, el 40% remanente abandona el rumen con la fase líquida de la ingesta y se absorbe a lo largo del tracto digestivo (Klangnok *et al.*, 2011), por lo que la fuente degradable de metionina puede tener diferentes mecanismos de acción.

Por otra parte, cuando se utilizó lisina y metionina protegidas en conjunto, aumentó la producción de leche y el porcentaje de grasa en un grupo de vacas alimentadas con estos AA; igualmente, cuando se alimentaron con metionina o lisina protegidas, mejoró la producción y la grasa de la leche (Wang *et al.*, 2010). En otro estudio, se suplementó con metionina (50 g) y lisina (25 g) protegidas y se mejoró la producción y contenido de proteína en leche (Awawdeh, 2016). La respuesta en ganado lechero (producción y calidad de la leche) suplementado con lisina y metionina ha sido variable e inconsistente. Robinson (2010) menciona que la metionina sólo mejora la proteína y grasa de la leche, pero al suplementar lisina en combinación con metionina protegida aumentó la producción láctea y la proteína en la leche.

3.8 LITERATURA CITADA

- Ali, C. S., I. Din, M. Sharif, M. Nisa, A. Javaid, N. Hashimi, and M. Sarvar. 2009. Supplementation of ruminally protected proteins and amino acids: feed consumption, digestion and performance of cattle and sheep. *Int. J. Agric. Biol.* 11: 477-482.
- Awawdeh, M. S. 2016. Rumen-protected methionine and lysine: effects on milk production and plasma amino acids of dairy cows with reference to metabolisable protein status. *J. Dairy Res.* 83: 151-155.
- Barea, R., L. Brossard, N. Le Floch, Y. Primot, and J. V. Milgen. 2009. The standardized ileal digestible isoleucine-to-lysine requirement ratio may be less than fifty percent in eleven-to twenty-three-kilogram piglets. *J. Anim. Sci.* 87: 4022-4031.
- Berg, J. M., J. L. Tymoczko, y L. Stryer. 2007. *Bioquímica*. 6a ed. Barcelona, España. 1021 p.
- Berthiaume, R., P. Dubreuil, M. Stevenson, B. McBride, and H. Lapierre. 2001. Intestinal disappearance and mesenteric and portal appearance of amino acids in dairy cows fed ruminally protected methionine. *J. Dairy Sci.* 84(1): 194-203.
- Bidner, B. S., M. Ellis, D. P. Witte, S. N. Carr, and F. K. McKeith. 2004. Influence of dietary lysine level, pre-slaughter fasting, and rendement napole genotype on fresh pork quality. *Meat Sci.* 68: 53–60.
- Blachier, F., G. Wu, and Y. Yin. 2013. *Nutritional and physiological functions of amino acids in pigs*. Springer, Verlag. 307 p.
- Chamorro, C. A., P. Paz, J. G. Fernandez, and L. Anel. 1993. Fungiform papillae of the pig and the wild boar analyzed by scanning electron microscopy. *Scan Micros.* 7: 313-322.
- Champagne, C. P., and P. Fustier. 2007. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Curr. Opin. Biotechnol.* 18: 184-190.
- 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 gilt. *J. Anim. Sci.* 78: 987-992.

- Coma, J., D. Carrion, and D. R. Zimmerman. 1995. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. *J. Anim. Sci.* 84: 1749-1760.
- Corassa, A., C. Kiefer, and L. M. P. Gonçālvcs. 2013. Planos nutricionais de lisina para suínos da fase inicial a terminacāo. *Arch. Zootec.* 62: 533-542.
- D'Mello, J. P. F., and D. Lewis. 2003. Effect of nutrient deficiencies in animals: amino acids. *CRC Handbook Series in Nutrition and Food*. Boca Raton: CRC Press: Vol. 2: 441-490.
- Dai, Z. L., X. L. Li, P. B. Xi, J. Zhang, G. Wu, and W. Y. Zhu. 2012. Regulatory role for L-arginine in the utilization of amino acids by pig small-intestinal bacteria. *Amino Acids*. 43: 233-244.
- De Vos, P., M. M. Faas, M. Spasojevic, and J. Sikkema. 2010. Encapsulation for preservation of functionally and targeted delivery of bioactive food components. *Int. Dairy J.* 20: 292-302.
- Devlin, T. M. 2008. *Textbook of Biochemistry with Clinical Correlations*. 5th ed. John Wiley and Son, Inc. New Jersey. 1216 p.
- Ettle, T., D. A. Roth-Maier, and F. X. Roth. 2003. Effect of apparent ileal digestible lysine to energy ratio on performance of finishing pigs at different dietary metabolizable energy levels. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 87: 269-279.
- Ettle, T., M. Rademachar, J. K. Htoo, and F.X. Roth. 2010. Dietary preference for methionine sources in weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 155: 201-205.
- Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal FEDNA, 2008. Necesidades nutricionales para ganado porcino. 2^a ed. Accesado 10-04-18. http://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/Normas%20PORCINO_2013.pdf.
- Feng, Z., S. Qiao, Y. Ma, X. Wang, X. Li, and P. A. Thacker. 2006. Efficacy of methionine hydroxy analog and DL-methionine as methionine source for growing pigs. *J. Anim. Vet. Adv.* 5:135-142.
- 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 diet or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.

- Figuroa, J. L., J. Estrada, V. Zamora, J. L. Cordero, M. T. Sánchez-Torres, R. Nieto, and J. M. F. Copado. 2012. Digestible lysine levels in low-protein diets supplemented with synthetic amino acids for nursery, growing, and finishing barrows. *Irish J. Agr. Food Res.* 51: 33-44.
- Fontes, D. O., J. L. Donzele, e A. S. Ferreira. 2000. Níveis de lisina para leitoas seleccionadas geneticamente para deposição de carne magra dos 60 aos 95 kg. *R. Bras. Zootec.* 29: 784-793.
- Galli, F. 2007. Amino acid and protein modification by oxygen and nitrogen species. *Amino Acids.* 32: 497-499.
- Gutiérrez-Hernández, S., J. L. Figuroa-Velasco, M. T. Sánchez Torres-Esqueda, A. S. Hernández-Cázares, J. L. Cordero-Mora, y J. A. Martínez-Aispuro. 2016. Lisina y treonina digestible en dietas para cerdos en crecimiento. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios.* 3(7): 33-41.
- Hang, D. T., N. Q. Linh, T. R. Preston, H. Evert, and A. C. Beyman. 2009. Effect of supplementary DL-methionine in pig diets with cassava leaves as a major protein source *Liv. Res. for Rural Dev.* 21 accesado 10-05-18: <http://www.lrrd.org/lrrd21/1/hang21015.htm>
- He, L.Q., H. Yang, Y. Hou, T. Li, J. Fang, X. Zhou, Y. Yin, L. Wu, M. Nyachoti, and G. Wu. 2013. Effects of dietary L-lysine intake on the intestinal mucosa and expression of CAT genes in weaned piglets. *Amino Acids* 45: 383-391.
- Jankowski, J., M. Kubinska, and Z. Zdunczyk. 2014. Nutritional and immune modulatory function of methionine in poultry diets: a review. *Anim. Sci.* 14: 17-31.
- Jewell, J. L., R. C. Russell, and K. L. Guan. 2013. Amino acid signaling upstream of mTOR. *Nat. Rev. Mol. Cell. Biol.* 14: 133-139.
- Jin, Y. H., H. K. Oh, L. G. Piao, S. K. Jang, Y. H. Choi, P. S. Heo, Y. D. Jang, and Y. Y. Kim. 2010. Effect of dietary lysine restriction and energy density on performance, nutrient digestibility and meat quality in finishing pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23: 1213-1220.
- Jobgen, W. S., S. K. Fried, W. J. Fu, C. J. Meininger, and G. Wu. 2006. Regulatory role for the arginine-nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates. *J. Nutr. Biochem.* 17: 571-588.

- Katsumata, M., S. Kawakami, Y. Kaji, R. Takada, and M.J. Dauncey. 2002. Differential regulation of porcine hepatic IGF-I mRNA expression and plasma IGF-I concentration by a low lysine diet. *J. Nutr.* 132: 688-692.
- Klangnok, P., P. Lounglawan, and W. Suksombat. 2011. Effects of met hidroxy analog (MHA[®]) supplementation of dairy cow's diets on milk yield and milk composition. *Suranaree J. Sci. Technol.* 18: 99-108.
- Knight, C., C. Atwell, C. Wuelling, F. Ivey, and J. Dibner. 1998. The relative effectiveness of 2-hidroxy-4-(methylthio) butanoic acid and DL-methionine in young swine. *J. Anim. Sci.* 76: 781-787.
- Li, P., Y. L. Yin, D. Li, S. W. Kim, and G. Wu. 2007. Amino acids and immune function. *Brit. J. Nutr.* 98: 237-252.
- Liu, X. D., X. Wu, Y. L. Yin, Y. Q. Liu, M. M. Geng, H. S. Yang, F. Blachier, and G. Y. Wu. 2012. Effects of dietary L-arginine or N-carbamylglutamate supplementation during late gestation of sows on the miR-15b/16, miR-221/222, VEGFA and eNOS expression in umbilical vein. *Amino Acids.* 42: 2111-2119.
- Lupi, A., R. Tenni, A. Rossi, G. Cetta, and A. Forlino. 2008. Human prolidase and prolidase deficiency: an overview on the characterization of the enzyme involved in proline recycling and on the effects of its mutations. *Amino Acids.* 35: 739-752.
- Mata, G., D. G. Master, D. G. Buscall, K. Street, and A. C. Schlink. 1995. Responses in wool growth, liveweighth, glutathione and amino acids in merino wethers fed increasing amounts of methionine protected from degradation in the rumen. *Aust. J. Agric. Res.* 46: 1189-1204.
- Mitsuhashi, S. 2014. Current topics in the biotechnological production of essential amino acids, functional amino acids, and dipeptides. *Curr. Opin. Biotechnol.* 26: 38-44.
- National Research Council (NRC). 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. 10th Ed. National Academy Press, Washington, D. C. 210 p.
- National Research Council (NRC). 2001. *Nutrients Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. National Academy Press, Washington, D. C. 408 p.
- National Research Council (NRC). 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. 11th Ed. National Academy Press, Washington, D. C. 400 p.

- Nelson, D. L. y M. M. Cox. 2014. *Principios de Bioquímica de Lehninger*. 6ª ed. Artmed, Porto Alegre. 1328 p.
- Nevodic, V., A. Kalusevic, V. Manojlovic, S. Levic, and B. Burgarski. 2011. An overview of encapsulation technologies for food applications. *Food Science*. 2011: 1806-1815.
- National Pork Producers Council (NPPC 1991). *Procedures to evaluate market hogs*. 3rd ed. National Pork Producers Council. Des Moines, IA, USA. 16 p.
- Pack, M. 2004. Aminosäuren in der Tierernährung. *Elements Degussa Sci News*. 06: 30-33.
- Piva, A., V. Pizzamiglio, M. Morlacchini, M. Tedeschi, and G. Piva. 2007. Lipid microencapsulation allows slow release of organic acids and natural identical flavor along the swine intestine. *J. Anim. Sci*. 85: 486-493.
- Prandini, A., S. Sigolo, M. Morlacchini, E. Grilli, and L. Fiorentini. 2013. Microencapsulated lysine and low-protein diets: effects on performance, carcass, characteristics and nitrogen excretion in heavy growing–finishing pigs. *J. Anim. Sci*. 91: 4226-4234.
- Regmi, N., T. Wang, M. A. Crenshaw, B. J. Rude, G. Wu, and S. F. Liao. 2016. Effects of dietary lysine levels on plasma free amino acid profile in late-stage finishing pigs. *SpringerPlus*. 5: 888.
- Remus, A., F. P. Mendes, L. Hauschild, I. Andretta, M. Kipper, J. G. De Paula, and C. Pomar. 2015. Exploratory study on the utilization of different dietary methionine source to lysine ratio for growing-finishing pigs. *J. Liv. Sci*. 181: 96-102.
- Ren, W., Y. Yin, G. Liu, X. Yu, Y. Li, G. Yang, T. Li, and G. Wu. 2012. Effect of dietary arginine supplementation on reproductive performance of mice with porcine circovirus type 2 infection. *Amino Acids*. 42: 2089-2094.
- Riedijk, M. A., B. Stoll, S. Chacko, H. Schierbeek, A. L. Sunehag, J. B. V. Goudoever and D. G. Burrin. 2007. Methionine transmethylation and transsulfuration in the piglet gastrointestinal tract. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104: 3408-3413.
- Robinson, P. H. 2010. Impacts of manipulating ration metabolizable lysine and methionine levels on the performance of lactating dairy cows: A systematic review of the literature. *Livest. Sci*. 127: 115-126.

- Rossi, F., M. Moschini, F. Masoero, G. Cavanna and G. Piva. 2003. Rumen degradation and intestinal digestibility of rumen protected amino acids: comparison between *in situ* and *in vitro* data. *Anim. Feed Sci. Tech.* 108: 223-229.
- Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, M. I. Hannas, J. L. Donzele, N. K. Sakomura, F. G. Perazzo, A. Saraiva, M. L. T. De Abreu, P. B. Rodrigues, R. F. De Oliveira, S. L. T. Barreto y C. O. Brito. 2017. *Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos. Composición de Alimento y Requerimientos Nutricionales.* 4 ed. Universidad Federal de Vicosa- Departamento de Zootecnia. Editor Horacio Santiago Rostagno; Traducido por Sandra Carolina Salguero Cruz. Universidad Federal de Vicosa. 488 p.
- Roy, N., H. Lapierre, and J. F. Bernier. 2000. Whole-body protein metabolism and plasma profiles of amino acids and hormones in growing barrows fed diets adequate or deficient in lysine. *Can. J. Anim. Sci.* 80: 585-595.
- Sangali, C. P., E. Gasparino, R. S. Vasconcellos, M. R. Fachinello, A. N. T. R. Monteiro, L. A. C. Esteves, L. P. Bonagurio, and P. C. Pozza. 2017. Methionine + cystine levels and vitamin B₆ supplementation on performance and enzyme expression of methionine metabolism of gilts from 75 to 100 kg. *R. Bras. Zootec.* 46(3): 223-230.
- Santos, L. S., J. K. Htoo, C. Fracaroli, W. C. Silva, J. P. Gobi, A. M. Veira, N. A. A. Barbosa, and L. Hauschild. 2018. Bioavailability of di-peptide DL-methionyl-DL-methionine in comparison to DL-methionine in weaned and growing pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 241: 94-101.
- Shelton, N. W., M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, and J. M. DeRouchey. 2011. Effects of increasing dietary standardized ileal digestible lysine for gilts grown in a commercial finishing environment. *J. Anim. Sci.* 89: 3587-3595.
- Shen, Y. B., A. C. Weaver, and W. Kim. 2014. Effect of grade L-Methionine on growth performance and gut health in nursery pigs compared with conventional DL-methionine. *J. Anim. Sci.* 92: 5530-5539.
- Suryawan, A., H. V. Nguyen, R. D. Almonaci, and T. A. Davis. 2013. Abundance of amino acid transporters involved in mTORC1 activation in skeletal muscle of neonatal pigs is developmentally regulated. *Amino Acids* 45: 523-530.

- Tan, B. E., X. G. Li, G. Y. Wu, and Y. Yin. 2012. Dynamic changes in blood flow and oxygen consumption in the portal-drained viscera of growing pigs receiving acute administration of L-arginine. *Amino Acids*. 43: 2481-2489.
- Tous, N., R. Lizardo, B. Vila, M. Gispert, I. F. M. Font, and E. Esteve-Garcia. 2014. Effect of reducing dietary protein and lysine on growth performance, carcass characteristics, intramuscular fat, and fatty acid profile of finishing barrows. *J. Anim. Sci.* 92: 129-140.
- Troen, A. M., E. Lutgens, D. E. Smith, I. H. Rosenberg, and J. Selhub. 2003. The atherogenic effect of excess methionine intake. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 100: 15089-15094.
- Trujillo-Coutiño, J. E., J. L. Figueroa-Velasco, M. Martínez-Aispuro, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, M. Cuca-García y M. Cervantes-Ramírez. 2007. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteínas. *Agrociencia*. 41: 597-607.
- Wang, C., H. Y. Liu, Y. M. Wang, Z. Q. Yang, J. X. Liu, Y. M. Wu, T. Yan, and H. W. Ye. 2010. Effects of dietary supplementation of methionine and lysine on milk production and nitrogen utilization in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93: 3661-3670.
- Wang, J., L. Chen, P. Li, X. Li, H. Zhou, F. Wang, D. Li, Y. Yin, and G. Wu. 2008. Gene expression is altered in piglet small intestine by weaning and dietary glutamine supplementation. *J. Nutr.* 138: 1025-1032.
- Wang, W., Z. Wu, Z. Dai, Y. Yang, J. Wang, and G. Wu. 2013. Glycine metabolism in animals and humans: implications for nutrition and health. *Amino Acids*. 45: 463-477.
- Wang, X. Q., P. L. Zeng, Y. Feng, C. M. Zhag, J. P. Yang, G. Shu, and Q. Y. Jiang. 2012. Effects of dietary lysine levels on apparent nutrient digestibility and cationic amino acid transporter mRNA abundance in the small intestine of finishing pigs, *Sus scrofa*. *J. Anim. Sci.* 83: 148-155.
- Witte, D. P., M. Ellis, F. K. Mc Keith, and E. R. Wilson. 2000. Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. *J. Anim. Sci.* 78: 1272-1276.

- Wu, G. 2009. Amino acids: metabolism functions and nutrition. *Amino Acids*. 37: 1-17.
- Wu, G. 2010. Functional amino acids in growth, reproduction, and health. *Adv. Nutr.* 1: 31-37.
- Wu, G. 2013. Functional amino acids in nutrition and health. *Amino Acids*. 45: 407-411.
- Wu, G., F. W. Bazer, G. A. Johnson, D. A. Khabe, R. C. Burghart, T. E. Spencer, and X. L. Wang. 2011. Important roles for L-glutamine in swine nutrition and production. *J. Anim. Sci.* 89: 2017-2030.
- Wu, G., Z. L. Wu, Z. Dai, Y. Yang, W. Wang, C. Liu, B. Wang, J. Wang, and Y. Yin. 2013. Dietary requirements of “nutritionally nonessential amino acids” by animals and humans. *Amino Acids* 44: 1107-1113.
- Zhang, J., J. Yin, X. Zhou, F. Li, J. Ni and B. Dong. 2008. Effects of lowers dietary lysine and energy content on carcass characteristics and meat quality in growing-finishing pigs. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 12: 1785-1793.

CAPÍTULO I. EFECTIVIDAD DE METIONINA PROTEGIDA EN DIETAS PARA CERDOS EN FINALIZACIÓN

1.1 RESUMEN

Los requerimientos de metionina (Met) para cerdos en engorda no están claramente establecidos, debido a sus relaciones metabólicas y su biodisponibilidad para la síntesis de proteína. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de sustituir DL-Met (regular) por DL-Met protegida (MP) sobre la respuesta productiva, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en finalización. Se utilizaron 50 cerdos híbridos (Landrance×Yorkshire×Duroc) con 56.85 ± 2.02 kg de peso inicial, los cuales se asignaron a los tratamientos en un diseño experimental completamente al azar. Los tratamientos consistieron en la sustitución gradual de Met regular por MP (0, 25, 50, 75 y 100%) en dietas de finalización I (50-75 kg) y finalización II (75-100 kg). Los datos se analizaron con el procedimiento GLM de SAS; el efecto de la concentración de MP se determinó con contrastes ortogonales para detectar tendencias lineales o cuadráticas ($P \leq 0.10$). En finalización I la ganancia de peso, peso vivo final y grasa dorsal aumentaron linealmente ($P \leq 0.05$), mientras que la conversión alimenticia (CA) disminuyó de manera lineal ($P \leq 0.05$) al incrementarse la MP en la dieta. En finalización II, con la adición de MP se observó un incremento con tendencia lineal ($P > 0.10$) en el consumo de alimento, la CA y el área del músculo *Longuissimus*. La concentración de urea en plasma tuvo una tendencia cuadrática ($P = 0.07$) observándose las mayores concentraciones con la adición de MP. En conclusión, la sustitución de metionina sintética regular por metionina protegida mejora los parámetros productivos en cerdos de 50-100 kg, por lo que es una buena opción para cerdos en finalización.

Palabras clave: aminoácidos, metionina protegida, cerdos.

1.2 ABSTRACT

The methionine requirements for fattening pigs are not clearly established due to its metabolic interrelationships and its bioavailability for protein synthesis. Because of that, the objective of this trial was to evaluate the effect of substitution of regular crystalline DL-Methionine (Met) by protected DL-Methionine (PM) on growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration of finishing pigs. Fifty hybrid (Landrace×Yorkshire×Duroc) pigs with 56.85 ± 2.02 kg initial body weight were used and allotted to treatments in a completely randomized design. Treatments were the gradual substitution of regular Met by PM (0, 25, 50, 75 and 100% substitution) in finishing I (50-75 kg) and finishing II (75-100 kg) diets. Data were analyzed with GLM procedure of SAS; the effect of PM was determined with orthogonal contrasts to detect linear or quadratic trends ($P \leq 0.10$). In finishing I pigs, the average daily gain, final body weight and backfat thickness increased linearly ($P \leq 0.05$), while feed:gain ratio decreased linearly ($P \leq 0.05$) when PM increased in the diet. In finishing II phase, it was observed an increase with linear tendency with the addition of PM ($P > 0.10$) on average daily feed intake, feed:gain ratio and *Longissimus* muscle area. The plasma urea nitrogen concentration had a quadratic trend ($P = 0.07$) increasing with the addition of PM. In conclusion, the substitution of regular crystalline methionine by protected methionine improves the growth performance variables in 50-100 kg pigs, so, it is a good choice for finishing pigs.

Keywords: amino acids, protected methionine, pigs.

1.3 INTRODUCCIÓN

La adición de aminoácidos (AA) sintéticos a las dietas de cerdos puede resolver el problema de la deficiencia y el exceso de estos, lo cual disminuye la excreción del nitrógeno y la contaminación ambiental (Gloaguen *et al.*, 2014). Las necesidades de AA para la producción en cerdos están influenciadas por factores como la capacidad genética para la síntesis de proteína corporal, el sexo y la edad del animal (NRC, 1998). Metionina (Met) generalmente es el segundo o tercer AA limitante en los ingredientes utilizados comúnmente para elaborar alimento para cerdos y es esencial para estos animales en todas las etapas del ciclo productivo, por lo que es indispensable incluirlo en la dieta de fuente sintética cuando los ingredientes principales no cubren el requerimiento; por ello, es importante determinar el porcentaje adecuado de inclusión para evitar desbalances que puedan afectar la síntesis de proteína (NRC, 2012) y la respuesta productiva en general.

En algunos estudios (Shen *et al.*, 2014; Kong *et al.*, 2016) realizados para comparar la biodisponibilidad y bioeficacia de isómeros D- y L-Met sintética para cerdos, se muestran resultados inconsistentes en cuanto al crecimiento y la conversión alimenticia. Dicha inconsistencia de resultados se atribuye a que los AA sintéticos libres, en comparación con los AA unidos a proteínas, son muy sensibles a las condiciones ácidas del estómago y se absorben rápidamente en el tracto digestivo (Sato *et al.*, 1984; Stein *et al.*, 2007), lo cual tiene efectos adversos en la eficiencia metabólica.

El uso de AA protegidos, capaces de resistir las condiciones estomacales y permitir una lenta liberación intestinal, puede ayudar a superar las limitaciones mencionadas anteriormente (Piva *et al.*, 2007). Este tipo de AA se utilizó primeramente en rumiantes, con el fin de sobrepasar las condiciones del rumen y que sean aprovechados directamente por el animal en el intestino delgado. Entre los AA protegidos disponibles comercialmente se encuentran la lisina y la metionina. El uso de AA protegidos en la dieta ha tenido buenos resultados en mejorar los parámetros productivos en rumiantes (Ali *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2012; Zanton *et al.*, 2014). En el caso de los cerdos, el uso de lisina protegida en comparación con HCL·lisina aumenta la biodisponibilidad de este AA; con lo cual se puede reducir el contenido de PC y de AA sintéticos en la dieta, además de reducir la excreción de N en el estiércol sin afectar negativamente el crecimiento y las características de la canal de cerdos en finalización (Prandini *et al.*, 2013). Sin embargo, en la literatura no se encontró

información sobre el uso de otros AA protegidos (aparte de lisina) en animales no rumiantes. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de sustituir DL-Met sintética regular por DL-Met protegida sobre las variables productivas, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en finalización.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en el km 36.5 de la carretera México-Texcoco, en Montecillo, municipio de Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2,241 m. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 15.2°C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 2004). El manejo de los animales fue de acuerdo con las recomendaciones de la Guía Biomédica Internacional de Principios para el Uso de Animales en Investigación (CIOMS, 2012) y las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio (NOM-062-ZOO-1999, 2001).

En el experimento se utilizaron 50 cerdos híbridos (Landrace×Yorkshire×Duroc) machos castrados y hembras, con 56.85 ± 2.02 kg de peso vivo inicial (PVI). Los tratamientos consistieron en cinco concentraciones de MP para la etapa de finalización I (0, 0.025, 0.050, 0.075 y 0.100%; Cuadro 1) y finalización II (0, 0.046, 0.093, 0.139 y 0.185%; Cuadro 2) sustituyendo a la Met sintética regular en 0, 25, 50, 75 y 100% en la dietas de ambas etapas; el periodo de evaluación fue de 34 y 29 días, respectivamente. Estas concentraciones de MP consideraron los requerimientos sugeridos por el NRC (2012). La metionina protegida utilizada contiene 85% de DL-Metionina encapsulada (Mepron® Evonik Industries, Alemania).

Las dietas (Cuadros 1 y 2) se formularon con base en sorgo-pasta de soya, adicionadas con AA sintéticos (L-Lisina HCl, DL-Metionina [Evonik Industries AG., Parsippany, NJ, USA], L-Treonina [Jefo Nutrition Inc., Saint-Hyacinthe, Québec, Canadá], L-Triptófano [CPB Aurum S.A. de C.V., México) para cubrir o exceder los requerimientos sugeridos por NRC (2012), con el comando Solver de Excel (Microsoft Excel, 2007).

En el alimento de la etapa de finalización II se incluyeron 5 ppm de ractopamina (Paylean, Elanco, México) y se ajustaron los requerimientos para formular las dietas con base a la recomendación del NRC (2012) cuando se agrega este beta-adrenérgico.

Los cerdos se alojaron en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. El alimento y el agua se proporcionaron a libre acceso. La limpieza de los corrales e inspección del estado de salud de los cerdos se realizó diariamente durante todo el experimento.

La grasa dorsal (GD) y el área del músculo *Longissimus* (AML) se midieron a la altura de la décima costilla, con un ultrasonido de tiempo real SonoVet 600 marca MEDISON (Medison, Inc., Cypress, CA, EUA) al inicio y al final de cada fase. Con estos datos y con los del peso vivo inicial (PVI) y peso vivo final (PVF) se estimaron la ganancia de carne magra (GCM) y el porcentaje de carne magra (PCM) inicial (PCMI) y final (PCMF), mediante la ecuación número cinco de Burson y Berg (2001).

Al final de cada etapa se obtuvieron muestras de sangre de la vena cava anterior; se utilizaron tubos Vacutainer® de 10 ml con heparina (BD Vacutainer, Franklin Lakes, NJ, 07417, EUA), que se colocaron en hielo hasta centrifugarse (centrífuga SIGMA 2-16K, Osterade am Harz, 37520, Alemania) a 1,286 g durante 20 min, para separar el plasma del paquete celular. El plasma de cada muestra se transfirió a un tubo de polipropileno y se almacenó en un congelador (EUR251P7W Tappan, Electrolux Home Products North American, Augusta, GA, 30907, EUA) a -20 °C, hasta la determinación del nitrógeno ureico.

1.4.1 Análisis de laboratorio

La concentración de urea en plasma (CUP) se determinó con un espectrofotómetro (Varian Cary UV vis Spectrophotometer, Victoria, Australia) mediante la metodología planteada por Chaney y Marbach (1962); todas las muestras de CUP fueron analizadas por duplicado. La proteína cruda (PC) se determinó por el método de macrokjeldahl (AOAC, 2005). La concentración de calcio (Ca) y fósforo (P) se determinó con un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer 4000, serie Lambda 2, Perkin Elmer Inc., Norwalk, CT, EUA; Karl *et al.*, 1979).

1.4.2 Variables de respuesta

Las variables analizadas en este estudio fueron: respuesta productiva [consumo diario de alimento, CAL (kg d⁻¹); ganancia diaria de peso, GDP (kg d⁻¹); conversión alimenticia, CA

(kg×kg); peso vivo final, PVF (kg) y ganancia de carne magra, GCM (kg d⁻¹), características de la canal [grasa dorsal GD (mm); porcentaje de carne magra PCM (%); área del músculo *Longissimus dorsi* AMLI (cm²)] y la CUP (mg dL⁻¹).

1.4.3 Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar con cinco tratamientos y 10 repeticiones; cada cerdo alojado en corral individual se consideró una unidad experimental. La normalidad y homogeneidad de los datos se evaluaron con las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene's. Con los datos se realizó un ANOVA utilizando el procedimiento GLM de SAS (2010) y el efecto de la concentración de Met protegida se determinó con contrastes ortogonales para detectar tendencias lineales o cuadráticas ($P \leq 0.10$). El peso vivo inicial se utilizó como una covariable ($P \leq 0.10$).

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1 Finalización I

En la etapa de finalización I, la GDP ($P \leq 0.009$), PV ($P \leq 0.01$) y GD ($P \leq 0.01$) aumentaron linealmente, mientras que la CA disminuyó ($P \leq 0.05$) también de manera lineal al incrementarse el nivel de inclusión de MP en la dieta (Cuadro 3). El porcentaje de carne magra (PCM) en la canal aumentó de manera cuadrática ($P \leq 0.06$) con la sustitución de Met regular por MP. El resto de las variables no fueron afectadas ($P > 0.10$) al utilizar los dos tipos de Met (regular y protegida). Prandini *et al.* (2013) observaron que existe una mejor eficiencia metabólica de los AA microencapsulados (protegidos) en comparación con AA sintéticos tradicionales utilizados en la alimentación de cerdos, debido a que su velocidad de liberación y absorción es más lenta en el tracto gastrointestinal, lo cual permite un mayor nivel de utilización. Con estos resultados se puede inferir que el uso de Met protegida incrementa su disponibilidad y absorción en el organismo del animal (Piva *et al.*, 2007; Schwab y Orway, 2016), lo cual se refleja en un mejor comportamiento productivo; ya que al haber una mayor disponibilidad de Met en dietas estándar para cerdos, se observan mejoras en la GDP, PV, CA, GD y PCM (Ettle *et al.*, 2010; Chen *et al.*, 2014; Shen *et al.*, 2014).

1.5.2 Finalización II

En finalización II no se observó efecto ($P>0.10$) de la adición de MP (Cuadro 4) sobre la GDP, PVF, GCM, GD y PCM. Sin embargo, en esta etapa, el CAL ($P\leq 0.10$) y el AML ($P\leq 0.04$) se incrementaron y la CA disminuyó con una tendencia lineal ($P\leq 0.10$) en respuesta al aumento de Met protegida en la dieta en sustitución de la Met sintética. La CUP se comportó de manera cuadrática ($P\leq 0.07$), observándose las mayores concentraciones con el tratamiento testigo y los tratamientos con mayor cantidad de Met protegida; la menor concentración se encontró cuando la Met regular se sustituyó en 25 y 50% por MP.

El aumento en el CAL mejoró la CA, que se redujo en los cerdos alimentados con mayor concentración de MP en la dieta, aunque no se reflejó en una mejor GDP. Sin embargo, sí hubo efecto del mayor consumo de alimento sobre el AML, que aumentó en tratamientos con mayor contenido de MP. Este mayor CAL pudo deberse a que al haber una mayor biodisponibilidad de Met el animal tendió a consumir más alimento debido a que el incremento o bien, el exceso de Met provocó un desbalance con otros AA, con lo que aumentó la energía disponible para el metabolismo animal (Klindt *et al.*, 2006). El desbalance de AA se confirma con la mayor CUP en los tratamientos que contenían la mayor cantidad de Met protegida, ya que la CUP es un indicador biológico de la eficiencia en la utilización de los AA de la dieta, siendo este metabolito sanguíneo muy sensible a cambios en el aporte de PC y AA en el alimento (Coma *et al.*, 1995; Klindt *et al.*, 2006; Lents *et al.*, 2013). Dicho desbalance provocó que el animal consumiera mayor cantidad de alimento para ingerir mayor cantidad de otros AA, ya que el potencial de crecimiento le permitía seguir sintetizando proteína muscular, resultando en una mayor acumulación del AML.

1.6 CONCLUSIÓN

La sustitución de metionina sintética regular por metionina protegida en la dieta mejora algunos parámetros productivos, de las características de la canal y la concentración de urea en plasma en cerdos de 50-100 kg de peso.

1.7 LITERATURA CITADA

- Ali, C. S., I. Din, M. Sharif, M. Nisa, A. Javaid, N. Hashimi, and M. Sarvar. 2009. Supplementation of ruminally protected proteins and amino acids: feed consumption, digestion and performance of cattle and sheep. *Int. J. Agric. Biol.* 11: 477-482.
- Association of Analytical Chemists (AOAC). 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th Ed. Arlington, VA, EUA. 128 p.
- Burson, D., and E. Berg. 2001. Procedures for estimating pork carcass composition. Pork quality facts. National Pork Producers Council, Des Moines, IA. USA.
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Coma, J., D. R. Zimmerman, and D. Carrion. 1995. Relationship of rate of lean tissue growth and other factors to concentration of urea in plasma of pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 3649-3656.
- Courtney-Martin, G., R. O. Ball, and P. B. Pencharz. 2012. Sulfur amino acid metabolism and requirements. *Nutr. Rev.* 70: 170–175.
- Ettle, T., M. Rademacher, J. K. Htoo, and F. X. Roth. 2010. Dietary preference for methionine source in weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 155: 201-205.
- Ferket, 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 (E. Suppl 2): E168-E182.
- Figuroa, J. L., J. Estrada, V. Zamora, J. L. Cordero, M. T Sánchez-Torres, R. Nieto, and J. M. F. Copado. 2012. Digestible lysine levels in low-protein diets supplemented with synthetic amino acids for nursery, growing, and finishing barrows. *Irish J. Agr. Food Res.* 51: 33-44.
- García, E. 2004. *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen*. 5^a. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México 90 p.

- Gebru, E., J. S. Lee, J. C. Son, S. Y. Yang, S. A. Shin, B. Kim, M. K. Kim and S. C. Park. 2010. Effect of probiotic, bacteriophage, or organic acid-supplemented feeds or fermented soybean meal on the growth performance, acute-phase response, and bacterial shedding of grower pigs challenged with serotype *Typhimurium*. *J. Anim. Sci.* 88: 3880-3886.
- Karl, R. F., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, y J. H. Conrad. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. 2^a. ed. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Gainesville. Florida, EUA. 39 p.
- Klindt, J., R. M. Thallman, and T. Wise. 2006. Effect of sire line, sire, and sex, on plasma urea nitrogen, body weight, and backfat thickness in offspring of Duroc and Landrace boars. *J. Anim. Sci.* 84: 1323-1330.
- Lee, C., A. N. Hristov, T. W. Cassidy, K. S. Heyler, H. Lapierre, G. A. Varga, M. J. Veth, R. A. Patton, and C. Parys. 2012. Rumen-protected lysine, methionine, and histidine increase milk protein yield in dairy cows fed a metabolisable protein-deficient diet. *J. Dairy Sci.* 95: 6042-6056.
- Lents, C. A., L. A. Rempel, J. Klindt, T. Wise, D. Nonneman, and B. A. Freking. 2013. The relationship of urea nitrogen with growth traits and age at first estrus in gilts. *J. Anim. Sci.* 91: 3137-3142.
- Mariscal-Landín, G., T. C. Reis de Souza, D. A. A. Hernández, y K. G. Escobar. 2009. Pérdidas endógenas de nitrógeno y aminoácidos en cerdos y su aplicación en la estimación de los coeficientes de digestibilidad ileal de la proteína y aminoácidos de las materias primas. *Revision. Téc. Pecu. Mex.* 47(4): 371-388.
- Martínez-Aispuro M., J. L. Figueroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, y L. Reyna-Santamaría. 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.
- Microsoft Excel. 2007. Microsoft Corporation. 1985- 2001. Redmond, WA, USA.

- National Research Council (NRC). 2012. Nutrient Requirements of Swine. 11th ed. National Academy Press, Washington, D.C. 400 p.
- Nelson, D. L. y M. M. Cox. 2014. Principios de bioquímica de Lehninger. 6^a ed. Artmed, Porto Alegre. 1328 p.
- Piva, A., P. Anfossi, E. Meola, A. Pietri, A. Panciroli, T. Bertuzzi, and A. Formigoni. 1997. Effect of microencapsulation on absorption processes in swine. *Livest. Prod. Sci.* 51: 53–61.
- Piva, A., V. Pizzamiglio, M. Morlacchini, M. Tedeschi, and G. Piva. 2007. Lipid microencapsulation allows slow release of organic acids and natural identical flavor along the swine intestine. *J. Anim. Sci.* 85: 486-493.
- Prandini, A., S. Sigolo, M. Morlacchini, E. Grilli, and L. Fiorentini. 2013. Microencapsulated lysine and low-protein diets: effects on performance, carcass, characteristics and nitrogen excretion in heavy growing–finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91: 4226-4234.
- Qiao, S., X. Piao, Z. Feng, Y. Ding, L. Yue, and P. A. Thacker. 2008. The optimum methionine to methionine plus cystine ratio for growing pigs determined using plasma urea nitrogen and nitrogen balance. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 21(3): 434-442.
- Rossi, F., M. Moschini, F. Masoero, G. Cavanna, and G. Piva. 2003. Rumen degradation and intestinal digestibility of rumen-protected amino acids: comparison between *in situ* and *in vivo* data. *Anim. Feed Sci. Tech.* 108 (1): 223-229.
- Schwab, C. G., and R. S. Orway. 2016. Methionine supplementation options. Department of Animal and Nutritional Sciences. University of New Hampshire Durham (en línea). Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/238748587>.
- Shen, Y. B., A. C. Weaver, and W. Kim. 2014. Effect of grade L-methionine on growth performance and gut health in nursery pig compared with conventional DL-methionine. *J. Anim. Sci.* 92: 5530-5539.

Statistical Analysis System (SAS). 2010. The SAS system for Windows V8. SAS 9.3 Institute, Cary, NC, USA.

Trujillo-Coutiño J. E., J. L. Figueroa-Velasco, M. Martínez-Aispuro, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, M. Cuca-García, y M. Cervantes-Ramírez. 2007. Concentración de urea plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. *Agrociencia* 41: 597-607.

Wu, G. 2013. Functional amino acids in nutrition and health. *Amino Acids* 45: 407-411.

Zanton, G. I., G. R. Bowman, M. Vázquez-Añón, and L. M. Rode. 2014. Meta-analysis of lactation performance in dairy cows receiving supplemental dietary methionine sources or post-ruminal infusion of methionine. *J. Dairy Sci.* 97: 7085-7101.

Cuadro 1.1. Dietas experimentales para cerdos en finalización I (50-75 kg de peso)

| Ingrediente, % | Tratamiento | | | | |
|--|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Sorgo | 82.51 | 82.48 | 82.45 | 82.42 | 82.39 |
| Pasta de soya | 14.48 | 14.48 | 14.48 | 14.49 | 14.50 |
| Aceite de soya | 0.66 | 0.68 | 0.71 | 0.73 | 0.76 |
| L-Lisina (50%) | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| DL-Metionina | 0.10 | 0.08 | 0.06 | 0.04 | 0.01 |
| Metionina protegida | 0.00 | 0.02 | 0.05 | 0.07 | 0.10 |
| L-Treonina | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| Premezcla de vitaminas [†] | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| Premezcla de minerales [¶] | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| Cloruro de sodio | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| CaCO ₃ | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.87 | 0.87 |
| Contenido calculado, % | | | | | |
| Energía metabolizable (Mcal kg ⁻¹) | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 3.30 |
| Proteína cruda | 15.20 | 15.20 | 15.20 | 15.19 | 15.19 |
| Calcio | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 | 0.59 |
| Fósforo | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| Lisina | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| Treonina | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 |
| Triptófano | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Metionina | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| Met+Cis | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| Análisis determinado, % | | | | | |
| Proteína cruda | 14.95 | 14.96 | 14.97 | 15.00 | 14.80 |
| Calcio | 0.56 | 0.56 | 0.57 | 0.58 | 0.55 |
| Fósforo | 0.30 | 0.29 | 0.31 | 0.33 | 0.28 |

[†] Proporcionó, por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. [¶] Aportó, por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

Cuadro 1.2. Dietas experimentales para cerdos en finalización II (75-100 kg de peso)

| Ingrediente, % | Tratamiento | | | | |
|--|--------------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Sorgo | 82.96 | 82.90 | 82.84 | 82.77 | 82.71 |
| Pasta de soya | 13.48 | 13.49 | 13.50 | 13.52 | 13.53 |
| Aceite de soya | 0.77 | 0.82 | 0.86 | 0.90 | 0.95 |
| L-Lisina (50%) | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 |
| DL-Metionina | 0.16 | 0.12 | 0.08 | 0.04 | 0.00 |
| Metionina protegida | 0.00 | 0.04 | 0.09 | 0.13 | 0.18 |
| L-Triptófano | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| L-Treonina | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.14 |
| Premezcla de vitaminas [†] | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| Premezcla de minerales [‡] | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.17 |
| Cloruro de sodio | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| CaCO ₃ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Contenido calculado, % | | | | | |
| Energía metabolizable (Mcal kg ⁻¹) | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 |
| Proteína cruda | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 | 15.00 |
| Calcio | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| Fósforo | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| Lisina | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.93 | 0.93 |
| Treonina | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 0.57 |
| Triptófano | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| Metionina | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| Met+Cis | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 |
| Análisis determinado, % | | | | | |
| Proteína cruda | 14.75 | 14.86 | 14.90 | 14.80 | 14.72 |
| Calcio | 0.58 | 0.56 | 0.57 | 0.60 | 0.59 |
| Fósforo | 0.30 | 0.28 | 0.31 | 0.27 | 0.28 |

[†] Proporcionó, por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. [‡] Aportó, por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

Cuadro 1.3. Respuesta de cerdos en finalización I (50-75 kg de peso) alimentados con cinco niveles de metionina protegida

| | Tratamiento | | | | | EEM | Valor de p | |
|---|-------------|-------|-------|-------|-------|------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | Lineal | Cuadrático |
| Respuesta productiva | | | | | | | | |
| GDP, kg | 0.70 | 0.69 | 0.75 | 0.75 | 0.81 | 0.03 | 0.009 | 0.57 |
| CAL, kg d ⁻¹ | 2.61 | 2.63 | 2.65 | 2.56 | 2.77 | 0.15 | 0.60 | 0.61 |
| CA | 3.75 | 3.79 | 3.52 | 3.34 | 3.30 | 0.21 | 0.05 | 0.93 |
| PVI, kg | 53.5 | 58.5 | 56.8 | 56.6 | 58.2 | 0.97 | - | - |
| PVF, kg | 76.26 | 76.04 | 77.89 | 77.72 | 79.45 | 0.93 | 0.01 | 0.57 |
| GCM, kg d ⁻¹ | 0.24 | 0.23 | 0.25 | 0.23 | 0.26 | 0.01 | 0.39 | 0.59 |
| Características de la canal y urea en plasma | | | | | | | | |
| GD, mm | 9.23 | 10.69 | 10.56 | 11.39 | 10.11 | 0.35 | 0.01 | 0.002 |
| AML, cm ² | 26.87 | 28.63 | 28.57 | 28.06 | 27.50 | 1.10 | 0.79 | 0.20 |
| PCM, % | 52.69 | 53.56 | 53.57 | 53.05 | 52.29 | 0.55 | 0.48 | 0.06 |
| Urea mg dL ⁻¹ | 13.64 | 14.21 | 13.17 | 11.60 | 13.26 | 1.12 | 0.36 | 0.68 |

EEM= error estándar de la media, GDP= Ganancia diaria de peso, CAL= Consumo de alimento, CA= Conversión alimenticia, PV= Peso vivo, GCM= Ganancia de carne magra, GD= Grasa dorsal, AML= Área del músculo *longissimus*, PCM= % Carne magra.

Cuadro 1.4. Respuesta de cerdos en finalización II (75-100 kg de peso) alimentados con cinco niveles de metionina protegida

| | Tratamiento | | | | | EEM | Valor de p | |
|---|-------------|-------|-------|-------|-------|------|------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | Lineal | Cuadrático |
| Respuesta productiva | | | | | | | | |
| GDP, kg | 0.77 | 0.73 | 0.78 | 0.77 | 0.78 | 0.03 | 0.48 | 0.75 |
| CAL, kg d ⁻¹ | 2.81 | 2.80 | 2.87 | 2.84 | 3.10 | 0.12 | 0.10 | 0.30 |
| CA | 3.67 | 3.70 | 3.67 | 3.64 | 3.97 | 0.10 | 0.10 | 0.13 |
| PVF, kg | 98.20 | 97.06 | 98.50 | 98.47 | 98.56 | 0.93 | 0.46 | 0.77 |
| GCM, kg d ⁻¹ | 0.24 | 0.25 | 0.27 | 0.25 | 0.27 | 0.01 | 0.15 | 0.78 |
| Características de la canal y urea en plasma | | | | | | | | |
| GD, mm | 14.47 | 13.58 | 14.06 | 14.04 | 14.45 | 0.61 | 0.81 | 0.34 |
| AML, cm ² | 32.44 | 33.27 | 33.92 | 32.80 | 35.16 | 0.74 | 0.04 | 0.66 |
| PCM, % | 50.88 | 51.68 | 52.34 | 50.95 | 51.42 | 0.46 | 0.81 | 0.12 |
| Urea mg dL ⁻¹ | 25.30 | 19.92 | 19.52 | 23.72 | 22.17 | 1.80 | 0.67 | 0.07 |

EEM= error estándar de la media. GDP= Ganancia diaria de peso, CAL= Consumo de alimento, CA= Conversión alimenticia, PV= Peso vivo, GCM= Ganancia de carne magra, GD= Grasa dorsal, AML= Área del músculo *longissimus*, PCM= % Carne magra.

CAPÍTULO II. EFFECTIVENESS AND ADEQUATE LEVEL OF PROTECTED METHIONINE IN PIGS DIETS

2.1 SUMMARY

Background: the methionine (Met) requirements have not been clearly established for fattening pigs due to their metabolic interrelationships and its bioavailability for protein synthesis. Objective: to determine the optimum level of regular crystalline or protected Met in pig diets. Methods: this research was conducted with 48 crossbred (Yorkshire×Duroc×Pietrain) pigs (11.74 ± 1.72 kg of initial body weight). The treatments consisted of four levels (0.00, 0.05, 0.10, 0.15%) and two types (regular and protected) Met in nursery, growing, finishing I and finishing II stages. Results: in nursery and finishing pigs, protected Met increased average daily gain (ADG) and improved fat free lean gain (FFLG) in finishing pigs ($p \leq 0.10$). In nursery and growing pigs, 0.15 and 0.05 % Met, respectively, improved feed:gain ratio (FGR). In growing and finishing II pigs fed with extra 0.05% Met improved ADG ($p \leq 0.10$). In finishing I pigs, the addition of 0.10% Met reduced backfat thickness (BT) and in finishing II pigs 0.05% Met improved FFLG ($p \leq 0.10$). In growing and finishing II pigs, 0.10% Met reduced plasma urea nitrogen concentration ($p \leq 0.10$). Conclusions: protected Met in pig diets improves the ADG. Increasing 0.05-0.10% Met level improves FGR, ADG, FFLG and reduces BT; in addition, the excretion of nitrogen in feces and urine is reduced.

Keywords: synthetic amino acids, protected methionine, growth performance, carcass characteristics, pigs.

2.2 RESUMEN

Antecedentes: los requerimientos de metionina (Met) para cerdos en engorda no están claramente establecidos debido a sus relaciones metabólicas y su biodisponibilidad para la síntesis proteica. Objetivo: determinar la mejor concentración de Met regular o protegida en dietas para cerdos. Métodos: esta investigación se realizó con 48 cerdos cruzados (Yorkshire×Duroc× Pietrain; 11.74 ± 1.72 kg peso vivo inicial). Los tratamientos consistieron en cuatro niveles (0.00, 0.05, 0.10, 0.15% adicionales al contenido de la dieta) y dos tipos (regular y protegido) de Met en etapas de iniciación, crecimiento, finalización I y finalización II. Resultados: en iniciación y finalización, la Met protegida incrementó la ganancia diaria peso (GDP) y de carne magra (GCM) en finalización ($p \leq 0.10$). La adición de Met en iniciación (0.15%) y crecimiento (0.05%) mejoró conversión alimenticia (CA); en crecimiento y finalización II, 0.05% Met mejoró GDP ($p \leq 0.10$). En finalización I, la adición de Met redujo la grasa dorsal (GD; 0.10%) y en finalización II (0.05%) mejoró la GCM ($p \leq 0.10$). En crecimiento y finalización II, la adición de 0.10% de Met redujo la concentración de urea en plasma ($p \leq 0.10$). Conclusiones: el uso de Met protegida mejora la GDP. El aumento de Met en 0.05-0.10% mejora CA, GDP, GCM y reduce GD; además la excreción de nitrógeno al ambiente se reduce.

Palabras clave: aminoácidos sintéticos, metionina protegida, comportamiento productivo, características de la canal, cerdos.

2.3 INTRODUCTION

Methionine (Met) is the second or third limiting AA in conventional ingredients to formulate feed for fattening pigs, which may lead to methionine deficiency or excess reducing its availability for protein synthesis and limiting animal growth (Bauchart-Thevret *et al.*, 2009; NRC, 2012; Chen *et al.*, 2014).

Usually, Met must be provided by a synthetic source because there are no adequate levels in most of dietary ingredients (Santos *et al.*, 2011) and the bioavailability and bioefficacy of synthetic DL-Met isomers for pigs show inconsistent results in the growth performance and feed:gain ratio (Shen *et al.*, 2014; Kong *et al.*, 2016). This divergence of results could be attributed to the fact that free synthetic AA are very sensitive to the acidic conditions of the stomach and are rapidly absorbed in the digestive tract (Sato *et al.*, 1984, Stein *et al.*, 2007), which has adverse effects in their metabolic efficiency.

The use of protected AA, able to resist stomach conditions and allow a slow intestinal release, could help to overcome the limitations mentioned above (Piva *et al.*, 2007). The protected AA utilization has been reported for ruminant animals, improving their productive variables (Lee *et al.*, 2012; Zanton *et al.*, 2014). While protected lysine in substitution of HCl-lysine in pig diets improves the bioavailability of this AA, without negatively affecting the growth performance and the carcass characteristics (Prandini *et al.*, 2013).

It has been observed, that when extra Met was supplemented in pig diets improved productive performance and activated immune system (Opapeju *et al.*, 2012; de Oliveira *et al.*, 2015). However, the excess of Met can affect growth performance and carcass characteristics, and a lower Met levels in pig diets increased fat deposition, reduced protein synthesis and affected the carcass characteristics (Conde-Aguilera *et al.*, 2014). Although pigs can tolerate deficiency or excess of Met in the diet (Pena *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2011; Ying *et al.*, 2015).

Due to the importance to improve Met bioavailability and that it has not been possible to establish the appropriate dietary concentration because the best level of AA depends on each analyzed variable (Zhang *et al.*, 2013), the objective of this research was to determine the optimum level of Met and to evaluate the effects of using regular synthetic DL-Met or

protected DL-Met in pig diets on growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration.

2.4 MATERIAL AND METHODS

The experimental procedures were performed accordingly with the recommendations of the CIOMS (2012) and observing the standards for ethics, biosafety and animal well-being of the Official Mexican Standard (NOM-062-ZOO, 1999) for the use of animals in experimentation.

The experiment was conducted at the Swine Unit of the Experimental Farm of *Colegio de Postgraduados*, located in Montecillo, State of Mexico (long. 98° 48' 27" W, and lat. 19° 48' 23" N). The climate is temperate, semi-arid, with an average annual temperature of 15.9 °C, infrequent frosts, average annual rainfall of 686 mm and 2241 m. a. s. l. (García, 1988).

2.4.1 Pigs and experimental design

Forty eight crossbred (Yorkshire×Landrace×Duroc) terminal line growing barrows and gilts were used in a completely randomized design with 11.74 ± 1.72 kg of initial body weight. The treatments consisted of four levels of Met from two types (protected and regular Met) in the four stages: nursery (0.48, 0.53, 0.58, and 0.63%), growing (0.38, 0.43, 0.48, and 0.53%), finishing I (0.31, 0.36, 0.41, and 0.46%) and finishing II (0.23, 0.28, 0.33, and 0.38%) stages. These levels were obtained by adding synthetic Met or protected Met to the control diet to increase the dietary concentration of this AA. The Met concentrations evaluated resulted of the addition of synthetic Met to meet the requirement of Met + Cys in the diet, suggested by the NRC (2012). The protected Met contained 85% encapsulated DL-methionine (Mepron® Evonik Industries, Germany).

2.4.2 Diets and general management of pigs

Basal diets were based on sorghum-soybean meal and supplemented with crystalline AA [L-lysine·HCl, DL-methionine (Evonik Industries, Parsippany, NJ, USA), L-threonine (Jefo Nutrition Inc, Saint-Hyacinthe, Québec, Canada) and L-tryptophan (CPB Aurum, México, DF)] to meet or exceed the nutritional requirement for each stage of growth (NRC,

2012; Table 1). Pigs were individually housed in 1.2×1.5 m pens with concrete floor partially covered by plastic slat, equipped with a single feeder and a nipple drinker. Feed and water were provided *ad libitum*.

2.4.3 Data recording

The variables analyzed were: average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI) and feed:gain ratio (FGR). On the first and last day of the experiment, the backfat thickness (BT) and *longissimus* muscle area (LMA) were also measured using a real time ultrasound Sonovet 600 with a 3.5 MHz transducer (Medison, Inc., Cypress, California, USA). These data together with the initial (IBW) and final (FBW) body weight were used to determine the fat free lean gain (FFLG) and the lean meat percentage (LMP) using the NPPC equations (Burson and Berg, 2001). At the final day of each stage, blood samples were taken from vena cava with heparinized tubes (Vacutainer®), then set in ice until centrifuged at 2500 g during 20 min (IEC Centra 8R, International Equipment Company, USA), to separate plasma from cell package. Plasma was transferred to polypropylene tubes and stored in a freezer (EUR251P7W Tappan, Electrolux Home Products North America, USA) at -20 °C until determination of plasma urea nitrogen (PUN) concentration by UV spectrophotometry (Spectrophotometer Cary 1E UV-vis, Varian, Australia; Chaney and Marbach, 1962).

2.4.4 Statistical analysis

The experimental design was a completely randomized with a 4×2 factorial arrangement of treatments. Factors were Met with four levels and two Met type (regular and protected). There were six replicates per treatment. Shapiro-Wilk and Levene's test were used to check normal distribution and homogeneity of variance for all variables. Data were analyzed with the GLM procedure, and Tukey's test ($p \leq 0.1$) was used to compare treatment means (SAS, 2010). The initial body weight was used as a covariate ($p \leq 0.1$).

2.5 RESULTS AND DISCUSSION

Results for growth performance of nursery pigs are presented in Table 2. There was no interaction between the level and type of Met on growth performance ($p > 0.10$). The FGR

improved ($p \leq 0.10$) with the highest level of Met (0.63%). The use of protected Met increased ADG, FBW, ADFI and BT ($p = 0.07$).

For growing pigs, the highest ADFI ($p \leq 0.08$) was observed with 0.38 and 0.43% Met and the lowest value with 0.48 and 0.53% of regular Met (Table 3); however the interaction between level and type of Met did not show a clear effect. The best ADG ($p \leq 0.10$) was observed with 0.43% Met. The FGR improved ($p \leq 0.05$) when using 0.48-0.53% Met, noting that the best response was with 0.53% of protected Met. PUN was reduced with 0.48% of Met ($p = 0.10$). Protected Met reduced LMP ($p = 0.09$) and increased BT ($p \leq 0.02$).

The higher levels of Met reduced BT (0.41-0.46%; $p < 0.01$), the lower BT was observed with regular Met ($p \leq 0.05$) in finishing I pigs (Table 4); the lowest values were observed with 0.41 and 0.46% of regular Met ($p \leq 0.09$). Protected Met increased ADFI ($p \leq 0.01$), ADG ($p = 0.04$), FFLG ($p \leq 0.01$), LMP ($p = 0.07$), and LMA ($p = 0.02$).

Protected Met increased ADFI ($p = 0.02$) in finishing II pigs (Table 5). The ADG, FBW, and FFLG improved ($p = 0.02$) with 0.28 and 0.33% Met and with protected Met ($p = 0.02$); the best result was with 0.28% of protected Met ($p = 0.02$). PUN was reduced ($p = 0.02$) using 0.33% of Met regardless of the Met type.

Protected Met increased ADG and ADFI in nursery and finishing pigs, increased the amount of BT in nursery and growing pigs, and improved FFLG in finishing pigs. Prandini *et al.* (2013) observed that there is a better metabolic efficiency of protected AAs compared with traditional synthetic AAs used in pig feed, due to its slower release and absorption rates, which allows a higher metabolic utilization. With these results it could be inferred that the use of protected Met increases availability and absorption in the pig (Piva *et al.*, 2007; Schwab and Orway, 2016), which is reflected in a better productive performance (improvements in ADG, FBW, and FGR; Opapeju *et al.*, 2012; Shen *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2014). In the present study, the best digestibility of protected methionine concentration was reflected in a greater BT, evidencing a possible excess and imbalance between AA, since the excess of AA (or the imbalance between them) produces higher fatness of carcass due to the removal and excretion of nitrogen excess and the retention of carbon skeletons as fat (García *et al.*, 2010).

In our experiment it was found that the best level of Met for FGR in nursery and growing pigs was with extra 0.15 and 0.05%, respectively. It has been observed that

supplementation with extra 0.02-0.12% Met improved FGR of postweaning and growing pigs (Opapeju *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2014; de Oliveira *et al.*, 2015). The best FGR in the initial stages could have been due to the importance of the Met as a functional AA for intestinal growth and function, beyond its role as a precursor for protein synthesis (Wu *et al.*, 2013).

In growing and finishing II pigs fed extra 0.05% Met improved the ADG. In growing pigs, 0.05% additional Met increased the ADFI. In finishing I pigs, 0.10% extra Met reduced BT, and in finishing II pigs, the addition of 0.05% Met improved FFLG. The Met requirement found in this study is higher than that recommended by the NRC (2012). This could be explained because a higher level could represent extra benefits in the productive performance of pig. When Met was supplemented (0.02%, 0.04%, and 0.06%) in growing pig diets, it improved daily gain, feed intake (Opapeju *et al.*, 2012), and feed:gain ratio (Opapeju *et al.*, 2012; de Oliveira *et al.*, 2015).

On the other hand, Met deficiency produces a lower ADG than pigs fed standard diet (Conde-Aguilera *et al.*, 2014), suppresses the intestinal mucosal growth, reduces intestinal epithelial cell proliferation, and increases oxidative stress in pigs (Bauchart-Thevret *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2014).

The information obtained in this study confirms that increasing Met levels in diet for pigs improve the growth performance variables because protein deposition is affected when Met is provided at insufficient levels (de Oliveira *et al.*, 2015); so, Met supplementation (0.12%) is required for optimal protein synthesis (Chen *et al.*, 2014). In addition, the use of correct level of Met might reduce the BT, because the deficiency of Met in pig diets increased lipid content in subcutaneous adipose tissue and *longissimus dorsi* muscle (Conde-Aguilera *et al.*, 2014; Castellano *et al.*, 2015).

Some studies showed that excess (Pena *et al.*, 2008) or restriction (Santos *et al.*, 2011; Ying *et al.*, 2015) of Met improves or does not affect growth performance, carcass weight, amount of meat, BT, and daily meat deposition in pigs, concluding that pigs can tolerate deficiencies or excess of Met+Cys in the diet, possibly due to the adaptation of tissue metabolism of pigs when facing an insufficient dietary methionine supply (Castellano *et al.*, 2015).

Extra 0.10% Met in growing and finishing II pigs reduced PUN. This lower PUN concentration is associated with a decrease in metabolic heat production related with pig metabolism derived from lower amount of total nitrogen and hence, lower synthesis and excretion of urea originated by AA excess when fed a standard CP diet, indicating better utilization of nitrogen by pigs fed with additional 0.10% Met (Qin *et al.*, 2015).

2.6 CONCLUSION

The substitution of synthetic Met by protected Met improves ADG and increases ADFI, without negative effect on FGR. The results indicate that the increase in 0.05-0.10% of Met level improves the FGR, ADG, FFLG, and reduces BT and PUN; besides, with this level of Met supplementation, the environmental nitrogen excretion is reduced.

2.7 REFERENCES

- Bauchart-Thevret, C., B. Stoll, S. Chacko, and D. G. Burrin. 2009. Sulfur amino acid deficiency upregulates intestinal methionine cycle activity and suppresses epithelial growth in neonatal pigs. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 296: 1239-1250.
- Burson, D. and E. Berg. 2001. Procedures for estimating pork carcass composition. Pork quality facts. National Pork Producers Council, Des Moines, IA, USA.
- Castellano, R., M. H. Perruchot, J. A. Conde-Aguilera, J. Van Milgen, A. Collin, S. Tesseraud, Y. Mercier, and F. A. Gondret. 2015. Methionine deficient diet enhances adipose tissue lipid metabolism and alters anti-oxidant pathways in young growing pigs. *Plos One.* 10: e0130514.
- Chaney, A. L. and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Chen, Y., D. Li, Z. Dai, X. Piao, Z. Wu, B. Wang, Y. Zhu, and Z. Zeng. 2014. L-Methionine supplementation maintains the integrity and barrier function of the small-intestinal mucosa in post-weaning piglets. *Amino Acids.* 46: 1131-1142.

- CIOMS, (Council for International Organizations of Medical Sciences). 2012. International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Geneva (Switzerland): CIOMS 4 p.
- Conde-Aguilera, J. A., C. Cobo-Ortega, Y. Mercier, S. Tesseraud and J. Van Milgen. 2014. The amino acid composition of tissue protein is affected by the total sulfur amino acid supply in growing pigs. *Anim.* 8: 401-409.
- de Oliveira Silva, F. C., R. W. Pinheiro, D. O. Fontes, B. A. Scottá, M. Almeida, L.P. O. Souza, and T. Z. Vida. 2015. Níveis de metionina+cistina para leitões dos 6 aos 16 kg submetidos a diferentes graus de ativação do sistema imune. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 16: 827-838.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4ta ed. México DF. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.
- García, C. R. F., Á. O. E. Malacara, C. J. Salinas, H. M. Torres, R. J. M. Fuentes, and 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. *Rev. Cient FCV-LUZ.* 20: 61–66.
- Kong, C., C. S. Park, J. Y. Ahn, and B. G. Kim. 2016. Relative bioavailability of DL-methionine compared with L-methionine fed to nursery pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 215: 181-185.
- Lee, C., A. N. Hristov, T. W. Cassidy, K. S. Heyler, H. Lapierre, G. A. Varga, M. J. Veth, R. A. Patton, and C. Parys. 2012. Rumen-protected lysine, methionine, and histidine increase milk protein yield in dairy cows fed a metabolisable protein-deficient diet. *J. Dairy Sci.* 95: 6042-6056.
- National Research Council (NRC). 2012. Nutrient requirements of swine. 11th Ed. Washington, DC, USA: National Academy Press.

- Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1999). 2001. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio. Ochoa M. L. I. Diario Oficial de la Federación: México, D. F.
- Opapeju, F. O., J. K. Htoo, C. Dapoza, and C. M. 2012. Nyachoti. Bioavailability of methionine hydroxy analog-calcium salt relative to DL-methionine to support nitrogen retention and growth in starter pigs. *Anim.* 6: 1750-1756.
- Pena, S. M., D. C. Lopes, H. S. Rostagno, F. C. de Oliveira Silva, and J. L. Donzele. 2008. Relações metionina mais cistina digestível:lisina digestível em dietas suplementadas com ractopamina para suínos em terminação. *R. Bras. Zootec.* 37: 1978-1983.
- Piva, A., V. Pizzamiglio, M. Morlacchini, M. Tedeschi, and G. Piva. 2007. Lipid microencapsulation allows slow release of organic acids and natural identical flavor along the swine intestine. *J. Anim. Sci.* 85: 486-493.
- Prandini, A., S. Sigolo, M. Morlacchini, E. Grilli, and L. Fiorentini. 2013. Microencapsulated lysine and low-protein diets: effects on performance, carcass; characteristics and nitrogen excretion in heavy growing–finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91: 4226-4234.
- Qin, C., P. Huang, K. Qiu, W. Sun, L. Xu, X. Zhang, and J. Yin. 2015. Influences of dietary protein sources and crude protein levels on intracellular free amino acid profile in the longissimus dorsi muscle of finishing gilts. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 6: 52.
- Santos, F. A., J. L. Donzele, F. C. S Oliveira, R. F. M. Oliveira, M. L. T. Abreu, A. Saraiva, D. Haese, and J. L. Kill. 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.
- Statistical Analysis System (SAS). 2010. The SAS system for windows V8. SAS 9.3. Cary, NC, USA.
- Sato, H., T. Seino, A. Korayashi, A. Murai, and Y. Yugari. 1984. Determination of the tryptophan content of feed and feedstuffs by ion exchange liquid chromatography. *Agric. Biol. Chem.* 48: 2961-2969.

- Schwab, C. G. and R. S. Orway. 2016. Methionine supplementation options. Department of Animal and Nutritional Sciences. University of New Hampshire Durham. Available in: <https://www.researchgate.net/publication/238748587>.
- Shen, Y. B., A. C. Weaver, and W. Kim. 2014. Effect of grade L-methionine on growth performance and gut health in nursery pig compared with conventional DL-methionine. *J. Anim. Sci.* 92: 5530-5539.
- Stein, H. H., B. Seve, M. F. Fuller, P. J. Moughan, and C. F. M. De Lange. 2007. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: Terminology and application. *J. Anim. Sci.* 85: 172-180.
- Wu, G., Z. L. Wu, Z. L. Dai, Y. Yang, W. Wang, C. Liu, B. Wang, J. Wang, and Y. Yin. 2013. Dietary requirements of nutritionally nonessential amino acids by animals and humans. *Amino Acids.* 44:1107-1113.
- Ying, Y., J. Yun, W. Guoyao, S. Kaiji, D. Zhaolai, and W. Zhenlong. 2015. Dietary l-methionine restriction decreases oxidative stress in porcine liver mitochondria. *Exp. Gerontol.* 65: 35-41.
- Zanton, G.I., G. R. Bowman, M. Vázquez-Añón, and L. M. Rode. 2014. Meta-analysis of lactation performance in dairy cows receiving supplemental dietary methionine sources or post-ruminal infusion of methionine. *J. Dairy Sci.* 97: 7085-7101.
- Zhang, G. J., C. Y. Xie, P. A. Thacker, J. K. Htoo, and S. Y. Qiao. 2013. Estimation of the ideal ratio of standardized ileal digestible threonine to lysine for growing pigs (22–50 kg) fed low crude protein diets supplemented with crystalline amino acids. *Anim. Feed Sci. Tech.* 180: 83-91.

Table 2.1. Composition of experimental basal diets for pigs fed with four levels and two types of metionine

| Ingredient, % | Stage | | | |
|-------------------------------------|---------|---------|-------------|--------------|
| | Nursery | Growing | Finishing I | Finishing II |
| Sorghum grain | 68.70 | 77.21 | 81.90 | 90.40 |
| Soybean meal | 26.49 | 18.66 | 14.14 | 6.50 |
| Soybean oil | 1.39 | 1.11 | 1.02 | 0.61 |
| Biolys* | 0.88 | 0.73 | 0.64 | 0.61 |
| DL-Methionine | 0.23 | 0.16 | 0.11 | 0.06 |
| L-Threonine | 0.16 | 0.10 | 0.08 | 0.06 |
| L-Tryptophan | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Vitamins** | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| Minerals*** | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Common salt | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |
| Calcium carbonate | 0.83 | 0.56 | 0.51 | 0.87 |
| Orthophosphate | 0.65 | 0.82 | 0.91 | 0.23 |
| Phytases | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Nutrient composition calculated (%) | | | | |
| ME, Mcal Kg ⁻¹ | 3.30 | 3.30 | 3.30 | 3.30 |
| Crude protein | 20.00 | 16.83 | 15.00 | 12.06 |
| Lysine | 1.28 | 1.00 | 0.85 | 0.63 |
| Methionine | 0.48 | 0.38 | 0.31 | 0.23 |
| Methionine+Cysteine | 0.71 | 0.57 | 0.48 | 0.36 |
| Threonine | 0.76 | 0.60 | 0.52 | 0.40 |
| Tryptophan | 0.21 | 0.17 | 0.15 | 0.11 |
| Calcium | 0.74 | 0.67 | 0.67 | 0.64 |
| Phosphorus | 0.36 | 0.31 | 0.31 | 0.35 |
| Nutrient composition determined (%) | | | | |
| Crude protein | 18.95 | 16.75 | 14.75 | 12.35 |
| Calcium | 0.68 | 0.62 | 0.62 | 0.64 |
| Phosphorus | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.33 |

*Biolys, 50.7% lysine. ** Supplied by kg of feed: 5.0×10⁶ IU vitamin A, 1.0×10⁶ IU vitamin D₃, 2.0×10⁴ IU vitamin E; 2 g vitamin K₃, 1 g tiamine, 5 g de rivoflavin, 2 g pyridoxine, 25 g niacin, 15 g D-calcium panthotenate, 3 g folic acid, 225 g choline chloride, 0.3 g antioxidant, 15 mg B₁₂ and 180 mg biotin. REKA[®] Lapisa. *** Supplied by kg of feed: 0.2 g Se, 0.1 g Co, 0.3 g I, 10 g Cu, 100 g Zn, 100 g Fe y 100 g Mn. REKA[®] Lapisa.

Table 2.2. Growth performance of nursery pigs fed with four levels and two types of methionine

| % Met [†] | Met type | ADFI [¶] (kg d ⁻¹) | ADG [§] (kg d ⁻¹) | FGR ^b | BWi ^² (kg) | BWf ^{††} (kg) | FFLG ^{¶¶} (kg d ⁻¹) | LMP ^{§§} (%) | BT ^{bb} (mm) | LMA ^{³³} (cm ²) | PUN ^{†††} (mg dL ⁻¹) |
|--------------------|-----------|--|---|--------------------|--------------------------|---------------------------|---|--------------------------|--------------------------|---|--|
| 0.48 | Regular | 0.87 | 0.43 | 2.03 | 11.81 | 23.79 | 0.18 | 45.94 | 4.23 | 11.27 | 13.98 |
| 0.48 | Protected | 0.95 | 0.45 | 2.10 | 11.49 | 24.41 | 0.17 | 45.30 | 4.63 | 11.37 | 15.49 |
| 0.53 | Regular | 0.87 | 0.42 | 2.09 | 12.22 | 23.47 | 0.17 | 46.20 | 4.21 | 11.22 | 16.70 |
| 0.53 | Protected | 0.98 | 0.48 | 2.03 | 11.63 | 25.31 | 0.18 | 44.31 | 4.94 | 11.32 | 14.89 |
| 0.58 | Regular | 0.82 | 0.40 | 2.05 | 11.71 | 23.01 | 0.17 | 46.53 | 3.63 | 10.74 | 13.46 |
| 0.58 | Protected | 0.88 | 0.46 | 1.94 | 11.55 | 24.49 | 0.18 | 45.86 | 4.67 | 11.94 | 13.23 |
| 0.63 | Regular | 0.89 | 0.47 | 1.84 | 12.21 | 25.02 | 0.19 | 45.26 | 4.76 | 11.81 | 12.38 |
| 0.63 | Protected | 0.93 | 0.49 | 1.88 | 11.34 | 25.52 | 0.20 | 46.82 | 4.33 | 12.77 | 15.66 |
| SEM ^{¶¶¶} | | 0.05 | 0.03 | 0.07 | 0.87 | 0.88 | 0.01 | 0.64 | 0.32 | 0.62 | 2.13 |
| Main effects | | | | | | | | | | | |
| 0.48 | | 0.91 | 0.44 | 2.07 ^a | 11.65 | 24.11 | 0.17 | 45.63 | 4.43 | 11.33 | 14.77 |
| 0.53 | | 0.93 | 0.45 | 2.06 ^a | 11.92 | 24.39 | 0.17 | 45.26 | 4.57 | 11.27 | 15.80 |
| 0.58 | | 0.85 | 0.42 | 2.00 ^{ab} | 11.63 | 23.75 | 0.17 | 46.20 | 4.15 | 11.34 | 13.35 |
| 0.63 | | 0.91 | 0.48 | 1.88 ^b | 11.78 | 25.27 | 0.19 | 46.04 | 4.55 | 12.29 | 14.02 |
| SEM | | 0.04 | 0.02 | 0.04 | 0.60 | 0.59 | 0.01 | 0.43 | 0.22 | 0.41 | 1.25 |
| | Regular | 0.86 ^b | 0.43 ^b | 2.01 | 11.99 | 23.82 ^b | 0.17 | 45.99 | 4.21 ^b | 11.26 | 14.13 |
| | Protected | 0.94 ^a | 0.47 ^a | 1.99 | 11.50 | 24.94 ^a | 0.18 | 45.58 | 4.64 ^a | 11.85 | 14.82 |
| SEM | | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.42 | 0.41 | 0.006 | 0.31 | 0.16 | 0.30 | 0.91 |

[†]Met= Methionine; [¶]ADFI= average daily feed intake; [§]ADG= average daily gain; ^bFGR= feed:gain ratio; ^²BWi= initial body weight; ^{††}BWf= final body weight; ^{¶¶}FFLG= Fat free lean gain; ^{§§}LMP= lean meat percentage; ^{bb}BT= backfat thickness; ^{³³}LMA= Longissimus muscle area; ^{†††}PUN= plasma urea nitrogen concentration, ^{¶¶¶}SEM= standard error of the mean. ^{a,b,c,d} Means with different superscript differ (p≤0.05).

Table 2.3. Growth performance of growing pigs fed with four levels and two types of methionine

| % Met [†] | Met type | ADFI [¶] | ADG [§] | FGR ^p | BWf ^{††} | FFLG ^{¶¶} | LMP ^{§§} | BT ^{bb} | LMA ^{xxx} | PUN ^{†††} |
|--------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------------|
| | | (kg d ⁻¹) | (kg d ⁻¹) | | (kg) | (kg d ⁻¹) | (%) | (mm) | (cm ²) | (mg dL ⁻¹) |
| 0.38 | Regular | 1.58 ^{abc} | 0.76 | 2.06 ^{abc} | 48.44 | 0.25 | 41.59 | 7.56 | 20.33 | 17.99 |
| 0.38 | Protected | 1.72 ^{ab} | 0.73 | 2.34 ^a | 52.63 | 0.28 | 39.73 | 8.35 | 19.92 | 17.05 |
| 0.43 | Regular | 1.78 ^a | 0.82 | 2.15 ^{ab} | 51.15 | 0.29 | 41.51 | 7.70 | 21.95 | 19.47 |
| 0.43 | Protected | 1.71 ^{ab} | 0.81 | 2.10 ^{abc} | 51.81 | 0.28 | 40.17 | 8.37 | 20.39 | 15.07 |
| 0.48 | Regular | 1.37 ^c | 0.72 | 1.89 ^{bc} | 51.68 | 0.28 | 40.55 | 7.20 | 20.03 | 14.02 |
| 0.48 | Protected | 1.53 ^{abc} | 0.75 | 2.04 ^{abc} | 50.41 | 0.27 | 40.85 | 7.93 | 20.72 | 16.13 |
| 0.53 | Regular | 1.50 ^{abc} | 0.76 | 1.96 ^{bc} | 49.92 | 0.26 | 40.82 | 7.32 | 19.86 | 18.10 |
| 0.53 | Protected | 1.41 ^{bc} | 0.76 | 1.86 ^c | 51.02 | 0.26 | 39.97 | 7.42 | 19.05 | 20.69 |
| SEM ^{¶¶¶} | | 0.08 | 0.03 | 0.07 | 2.13 | 0.02 | 0.82 | 0.37 | 0.92 | 1.91 |
| Main effects | | | | | | | | | | |
| 0.38 | | 1.65 ^a | 0.75 ^b | 2.20 ^a | 50.54 | 0.27 | 40.66 | 7.95 | 20.13 | 17.52 ^{ab} |
| 0.43 | | 1.75 ^a | 0.82 ^a | 2.13 ^{ab} | 51.48 | 0.28 | 40.84 | 8.03 | 21.17 | 17.27 ^{ab} |
| 0.48 | | 1.45 ^b | 0.74 ^b | 1.97 ^{bc} | 51.05 | 0.27 | 40.70 | 7.57 | 20.38 | 15.07 ^b |
| 0.53 | | 1.46 ^b | 0.76 ^{ab} | 1.91 ^c | 50.47 | 0.26 | 40.40 | 7.38 | 19.45 | 19.39 ^a |
| SEM | | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 1.52 | 0.01 | 0.57 | 0.26 | 0.62 | 1.33 |
| | Regular | 1.56 | 0.77 | 2.01 | 50.30 | 0.27 | 41.11 ^a | 7.44 ^b | 20.55 | 17.39 |
| | Protected | 1.60 | 0.76 | 2.09 | 51.46 | 0.27 | 40.18 ^b | 8.02 ^a | 20.02 | 17.24 |
| SEM | | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 1.04 | 0.01 | 0.38 | 0.17 | 0.44 | 0.89 |

[†]Met= Methionine; [¶]ADFI= average daily feed intake; [§]ADG= average daily gain; ^pFGR= feed:gain ratio; [¶]BWi= initial body weight; ^{††}BWf= final body weight; ^{¶¶}FFLG= Fat free lean gain; ^{§§}LMP= lean meat percentage; ^{bb}BT= backfat thickness; ^{xxx}LMA= Longissimus muscle area; ^{†††}PUN= plasma urea nitrogen concentration, ^{¶¶¶}SEM= standard error of the mean. ^{a,b,c,d} Means with different superscript differ (p≤0.05).

Table 2.4. Growth performance of finishing I pigs fed with four levels and two types of methionine

| % Met [†] | Met type | ADFI [¶] | ADG [§] | FGR ^b | BWf ^{††} | FFLG ^{¶¶} | LMP ^{§§} | BT ^{bP} | LMA ^{xxx} | PUN ^{†††} |
|--------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| | | (kg d ⁻¹) | (kg d ⁻¹) | | (kg) | (kg d ⁻¹) | (%) | (mm) | (cm ²) | (mg dL ⁻¹) |
| 0.31 | Regular | 4.44 | 0.83 | 2.99 | 73.62 | 0.27 | 38.63 | 11.06 ^a | 27.73 | 8.31 |
| 0.31 | Protected | 2.70 | 0.94 | 2.92 | 73.98 | 0.31 | 39.31 | 11.50 ^a | 29.14 | 11.60 |
| 0.36 | Regular | 2.55 | 0.81 | 3.15 | 74.19 | 0.27 | 38.21 | 11.22 ^a | 26.74 | 11.97 |
| 0.36 | Protected | 2.54 | 0.86 | 2.95 | 73.70 | 0.29 | 39.21 | 10.13 ^{ab} | 27.02 | 9.65 |
| 0.41 | Regular | 2.30 | 0.77 | 3.03 | 72.45 | 0.28 | 38.57 | 9.33 ^b | 25.67 | 10.22 |
| 0.41 | Protected | 2.56 | 0.74 | 3.01 | 74.94 | 0.30 | 39.09 | 10.50 ^{ab} | 28.39 | 10.63 |
| 0.46 | Regular | 2.41 | 0.80 | 2.98 | 73.97 | 0.29 | 38.93 | 9.39 ^b | 26.50 | 7.87 |
| 0.46 | Protected | 2.50 | 0.83 | 3.06 | 74.29 | 0.30 | 39.30 | 10.50 ^a | 28.33 | 10.21 |
| SEM ^{¶¶¶} | | 0.07 | 0.04 | 0.13 | 1.02 | 0.01 | 0.37 | 0.35 | 0.92 | 1.77 |
| Main effects | | | | | | | | | | |
| 0.31 | | 2.56 | 0.88 | 2.95 | 73.80 | 0.29 | 38.97 | 11.28 ^a | 28.43 | 9.95 |
| 0.36 | | 2.54 | 0.83 | 3.05 | 73.94 | 0.28 | 38.71 | 10.67 ^{ab} | 26.88 | 10.81 |
| 0.41 | | 2.43 | 0.80 | 3.02 | 73.69 | 0.27 | 38.83 | 9.92 ^b | 27.03 | 10.43 |
| 0.46 | | 4.45 | 0.82 | 3.02 | 74.11 | 0.30 | 39.12 | 10.10 ^b | 27.42 | 9.04 |
| SEM | | 0.05 | 0.03 | 0.09 | 0.70 | 0.01 | 0.27 | 0.25 | 0.63 | 1.21 |
| | Regular | 2.42 ^b | 0.80 ^b | 3.04 | 73.56 | 0.27 ^b | 38.58 ^b | 10.25 ^b | 26.66 ^b | 9.59 |
| | Protected | 2.58 ^a | 0.86 ^a | 2.99 | 74.22 | 0.30 ^a | 39.22 ^a | 10.73 ^a | 28.22 ^a | 10.52 |
| SEM | | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.50 | 0.006 | 0.18 | 0.16 | 0.44 | 0.86 |

[†]Met= Methionine; [¶]ADFI= average daily feed intake; [§]ADG= average daily gain; ^bFGR= feed:gain ratio; [¶]BWi= initial body weight; ^{††}BWf= final body weight; ^{¶¶}FFLG= Fat free lean gain; ^{§§}LMP= lean meat percentage; ^{bP}BT= backfat thickness; ^{xxx}LMA= Longissimus muscle area; ^{†††}PUN= plasma urea nitrogen concentration, ^{¶¶¶}SEM= standard error of the mean. ^{a,b,c,d} Means with different superscript differ (p≤0.05).

Table 2.5. Growth performance of finishing II pigs fed with four levels and two types of methionine

| % Met [†] | Met type | ADFI [¶] | ADG [§] | FGR ^b | BWf ^{††} | FFLG ^{¶¶} | LMP ^{§§} | BT ^{bp} | LMA ^{zzz} | PUN ^{†††} |
|--------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| | | (kg d ⁻¹) | (kg d ⁻¹) | | (kg) | (kg d ⁻¹) | (%) | (mm) | (cm ²) | (mg dL ⁻¹) |
| 0.23 | Regular | 2.60 | 0.75 ^b | 3.47 | 95.17 ^b | 0.24 ^b | 37.28 | 15.56 ^{ab} | 33.72 | 14.64 ^{ab} |
| 0.23 | Protected | 3.04 | 0.78 ^{ab} | 3.98 | 96.08 ^{ab} | 0.25 ^b | 38.08 | 14.67 ^{ab} | 35.24 | 10.04 ^{ab} |
| 0.28 | Regular | 2.80 | 0.78 ^{ab} | 3.59 | 96.33 ^b | 0.28 ^b | 37.38 | 14.58 ^{ab} | 33.46 | 13.60 ^{ab} |
| 0.28 | Protected | 2.99 | 0.97 ^a | 3.10 | 102.14 ^a | 0.39 ^a | 37.55 | 13.74 ^{ab} | 34.63 | 9.06 ^b |
| 0.33 | Regular | 2.75 | 0.83 ^{ab} | 3.38 | 97.51 ^{ab} | 0.28 ^{ab} | 37.58 | 13.20 ^{ab} | 33.07 | 9.84 ^b |
| 0.33 | Protected | 2.84 | 0.84 ^{ab} | 3.41 | 98.02 ^{ab} | 0.30 ^{ab} | 36.97 | 16.52 ^a | 34.28 | 9.60 ^b |
| 0.38 | Regular | 2.59 | 0.74 ^b | 3.57 | 94.81 ^b | 0.26 ^b | 38.15 | 12.94 ^b | 33.77 | 12.04 ^{ab} |
| 0.38 | Protected | 2.68 | 0.75 ^b | 3.59 | 95.35 ^b | 0.23 ^b | 27.16 | 14.40 ^{ab} | 32.24 | 16.44 ^a |
| SEM ^{¶¶¶} | | 0.13 | 0.03 | 0.23 | 1.48 | 0.03 | 0.66 | 1.02 | 0.17 | 1.82 |
| Main effects | | | | | | | | | | |
| 0.23 | | 2.82 | 0.76 ^b | 3.72 | 95.62 ^b | 0.24 ^b | 37.68 | 15.11 | 34.48 | 12.34 ^{ab} |
| 0.28 | | 2.90 | 0.88 ^a | 3.34 | 99.24 ^a | 0.33 ^a | 37.46 | 14.16 | 34.05 | 11.33 ^{ab} |
| 0.33 | | 2.80 | 0.83 ^{ab} | 3.40 | 97.77 ^{ab} | 0.29 ^{ab} | 37.28 | 14.86 | 33.68 | 9.72 ^b |
| 0.38 | | 2.63 | 0.75 ^b | 3.58 | 95.08 ^a | 0.25 ^b | 37.65 | 13.68 | 33.01 | 14.23 ^a |
| SEM | | 0.08 | 0.03 | 0.15 | 0.97 | 0.02 | 0.44 | 0.67 | 0.12 | 1.22 |
| | Regular | 2.69 ^b | 0.77 ^b | 3.50 | 95.95 ^b | 0.26 ^b | 37.60 | 14.07 | 33.50 | 12.53 |
| | Protected | 2.89 ^a | 0.84 ^a | 3.52 | 97.90 ^a | 0.29 ^a | 37.44 | 14.83 | 34.10 | 11.29 |
| SEM | | 0.06 | 0.02 | 0.10 | 0.65 | 0.01 | 0.28 | 0.47 | 0.78 | 0.78 |

[†]Met= Methionine; [¶]ADFI= average daily feed intake; [§]ADG= average daily gain; ^bFGR= feed:gain ratio; [¶]BWi= initial body weight; ^{††}BWf= final body weight; ^{¶¶}FFLG= Fat free lean gain; ^{§§}LMP= lean meat percentage; ^{bp}BT= backfat thickness; ^{zzz}LMA= Longissimus muscle area; ^{†††}PUN= plasma urea nitrogen concentration, ^{¶¶¶}SEM= standard error of the mean. ^{a,b,c,d} Means with different superscript differ (p≤0.05).

CAPÍTULO III. EFECTO DE LISINA PROTEGIDA EN DIETAS PARA CERDOS EN ENGORDA

3.1. RESUMEN

Para determinar la mejor concentración de lisina sintética regular o protegida en dietas para 50 cerdos híbridos (Landrance×York×Duroc; 29.55±1.80 kg peso vivo inicial) en engorda, se formularon tres concentraciones de lisina sintética regular o lisina protegida en dietas para crecimiento: 0.90, 1.0 y 1.10%; finalización I: 0.75, 0.85 y 0.95%; finalización II: 0.83, 0.93 y 1.03%. En crecimiento, el consumo de alimento (CAL) aumentó al incrementarse el nivel de lisina en la dieta ($P\leq 0.02$), siendo mayor en los cerdos que recibieron lisina sintética regular ($P\leq 0.02$). La ganancia diaria de peso (GDP; $P\leq 0.10$), la ganancia de carne magra (GCM; $P\leq 0.05$) y el área del músculo *Longissimus* (AML; $P\leq 0.03$) fueron mayores con lisina sintética regular. En finalización I, lisina regular incrementó peso vivo final (PVF; $P\leq 0.03$), AML ($P\leq 0.10$) y porcentaje de carne magra (PCM; $P\leq 0.07$); los máximos valores para cada variable se observaron con 0.95%. En finalización II, con 1.03% de lisina protegida aumentó PVF ($P\leq 0.009$), CAL ($P\leq 0.08$) y la concentración de urea en plasma (CUP; $P\leq 0.06$) fue menor. La dieta se aprovecha mejor en los animales, se mejora la respuesta de variables productivas, de características de la canal y se reduce la concentración de urea en plasma y, por lo tanto hay menor cantidad de N excretado al ambiente.

Palabras clave: Aminoácido sintético, lisina protegida, comportamiento productivo, características de la canal, cerdos.

3.2. ABSTRACT

To determine the best concentration of crystalline lysine, regular or protected, in diets for 50 hybrid (Landrace×York×Duroc; 29.55±1.80 kg initial body weight) fattening pigs, three concentrations of regular crystalline lysine or protected lysine were formulated for growing (0.90, 1.0 and 1.10%); finishing I (0.75, 0.85 and 0.95%); and finishing II (0.83, 0.93 and 1.03%) pigs. In growing, the average daily feed intake (ADFI) increased when lysine level increased in the diet ($P\leq 0.02$), higher in pigs fed regular crystalline lysine ($P\leq 0.02$). The average daily gain (ADG; $P\leq 0.10$), the fat free lean gain (FFLG; $P\leq 0.05$) and the *Longissimus* muscle area (LMA; $P\leq 0.03$) were higher in pigs fed regular crystalline lysine. In finishing I pigs, regular lysine increased final body weight (FBW; $P\leq 0.03$), LMA ($P\leq 0.10$) and lean meat percentage (LMP; $P\leq 0.07$); the highest values for each variable were observed with 0.95%. In finishing II stage, with 1.03% of protected lysine increased FBW ($P\leq 0.009$), ADFI ($P\leq 0.08$) and the plasma urea nitrogen (PUN; $P\leq 0.06$) was lower. The feed efficiency is better, growth performance and carcass characteristics variables are improved with increased levels of regular crystalline lysine, and plasma urea nitrogen concentration is reduced with protected lysine, so, lower amounts of N is excreted into the environment.

Keywords: Crystalline amino acid, protected lysine, growth performance, carcass characteristics, plasma urea nitrogen concentration, pigs.

3.3. INTRODUCCIÓN

La producción de cerdos no sólo ha avanzado en la obtención de líneas genéticas, con mejores índices de conversión de alimento, sino también de canales más magras (Andretta *et al.*, 2012). Sin embargo, la forma de alimentación y las técnicas utilizadas no han sido las más adecuadas. Para potencializar estas líneas genéticas, se ha estudiado la adición de aminoácidos (AA) sintéticos a las dietas de cerdos para resolver problemas de desbalance de AA (Gloaguen *et al.*, 2014). El contenido de AA es parte fundamental de las dietas para cerdos en las distintas etapas productivas (Wu, 2013).

La lisina es el primer aminoácido esencial (AAE) y también el primero limitante en los ingredientes utilizados en la alimentación de cerdos (NRC, 2012). La lisina, aparte de su participación en la síntesis de proteína en el organismo, también tiene otras funciones metabólica, como: facilita la digestión y la utilización de los demás nutrientes, por lo cual reduce la contaminación del medio ambiente (menor cantidad de nitrógeno en el ambiente); minimiza la deposición de grasa; garantiza un buen crecimiento, desarrollo y finalización (Corassa *et al.*, 2013). El aumento de proteínas musculares se debe al incremento en la tasa de síntesis, por mecanismos metabólicos y moleculares; por lo que la lisina participa en la regulación de la acumulación de la masa muscular en los cerdos (Wu, 2010). Este AA funciona como sustrato para la generación de numerosas moléculas no peptídicas que incluyen sustancias nitrogenadas de bajo peso molecular (carnitina, poliaminas, amoníaco y urea). Estos metabolitos son importantes en los diferentes procesos fisiológicos del cerdo (Wu, 2009).

La lisina sintética adicionada al alimento es sensible a las condiciones ácidas y rápidamente se absorbe en el tracto digestivo (Sato *et al.*, 1984), por lo que tiene efecto adverso en la eficiencia metabólica. Para resolver este problema, una alternativa es utilizar lisina protegida, que resiste el pH del estómago y así llega al intestino delgado relativamente intacta. Existen reportes que mencionan el efecto de los AA protegidos para mejorar el consumo, la digestión y el comportamiento productivo de los rumiantes (Ali *et al.*, 2009). En ganado lechero, el uso de lisina protegida mejoró la producción láctea (Awawdeh *et al.*, 2016).

En cerdos la lisina microencapsulada, comparada con lisina sintética regular, permitió reducir la proteína cruda (PC) y de AA sintéticos necesarios en la dieta. La lisina microencapsulada

disminuyó la excreción del nitrógeno (N) manteniendo las variables productivas de los cerdos en crecimiento-finalización (Prandini *et al.*, 2014).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de tres niveles y dos fuentes de lisina (lisina protegida y lisina sintética regular) en la respuesta productiva, características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento, finalización I y finalización II.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Localización

Este estudio se realizó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en Montecillo, Estado de México a 98° 48' 27" O y 19° 48' 23" N, con altitud de 2,241 m, con clima templado subhúmedo, lluvias en verano 15.2 °C de temperatura media anual de y 644.8 mm de precipitación media anual (García, 2004). El manejo de los animales fue de acuerdo con las recomendaciones de la Guía Biomédica Internacional de Principios para el Uso de Animales en Investigación (CIOMS, 2012) y las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio (NOM-062-ZOO-1999, 2001).

3.4.2 Tratamientos

Los tratamientos fueron tres niveles lisina con dos fuentes de lisina (lisina sintética regular y lisina protegida) en dietas para cerdos en crecimiento (0.90, 1.0 y 1.1%), finalización I (0.75, 0.85 y 0.95%), y finalización II (0.83, 0.93 y 1.03%), con la adición de AA sintéticos (L-Lisina HCl, DL-Metionina [Evonik Industries AG., Parsippany, NJ, USA], L-Treonina [Jefo Nutrition Inc., Saint-Hyacinthe, Québec, Canadá]). Las dietas fueron formuladas con el comando Solver de Excel (Microsoft Excel, 2007) para cubrir o exceder los requerimientos sugeridos por el NRC (2012), con base en sorgo-pasta de soya y adicionadas con AA sintéticos. La lisina protegida contiene 50% de L-Lisina HCl (AjiproTM-L, AJINOMOTO, Chicago, IL, USA; Cuadros 1, 2 y 3).

En el alimento de la etapa de finalización II se incluyeron 5 ppm de ractopamina (Paylean, Elanco, México) y se ajustaron los requerimientos para formular las dietas con base en la recomendación del NRC (2012) cuando se agrega este beta-adrenérgico.

3.4.3 Animales y diseño estadístico

Se utilizaron 50 cerdos híbridos (Landrace×Yorkshire×Duroc), machos castrados y hembras en crecimiento (29.55 ± 2.22 kg peso inicial), finalización I (52.16 ± 2.35 kg) y finalización II (75.70 ± 2.0 kg), distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×2 con ocho y nueve repeticiones por tratamiento. Un animal alojado individualmente en un corral de 1.5×1.2 m, fue considerado una unidad experimental. Los corrales estuvieron equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. El agua y el alimento se ofrecieron a libre acceso. El periodo de evaluación fue de 35 d para crecimiento, 28 d para finalización I y 29 d para finalización II.

3.4.4 Variables de respuesta

Las variables estudiadas fueron: respuesta productiva (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia CA; ganancia de carne magra, GCM; y peso vivo final de los cerdos, PVF); características de la canal (grasa dorsal, inicial y final, GD; porcentaje de carne magra inicial y final, PCM; área del músculo *Longissimus dorsi* inicial y final AML); y concentración de urea en plasma (CUP). La GD y AML se midieron utilizando ultrasonido de tiempo real Sono Vet 600 marca MEDISON (Medison, Inc, Cypress, CA, EUA), al inicio y final de cada etapa. Con estos datos y los de PVI y PVF se estimó la GMC, PCMI y PCMF, utilizando la ecuación número cinco de Burson y Berg (2001).

Al final de cada experimento se obtuvieron muestras de sangre de la vena cava anterior en tubos *vacutainer* con heparina, que se colocaron en hielo hasta centrifugarse a 1286 g durante 20 minutos para separar el plasma del paquete celular. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno que se guardaron en un congelador (EUR251P7W Tappan, Electrolux Home Products North American, Augusta, GA, EUA) a -20 °C hasta la determinación de la concentración de urea en plasma (CUP) por espectrofotometría (Vary Cary UV vis Spectrophotometer, Victoria, Australia) con la metodología de Chaney y Marbach (1962).

3.4.5 Análisis de laboratorio

La proteína total fue determinada por el método macrokjeldahl (AOAC, 1990). La concentración de calcio y fósforo fue determinada por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer 4000 serie Lambda 2, Perkin Elmer Inc., Norwalk, CT, EUA; Karl *et al.*, 1979).

3.4.6 Análisis estadístico

Las variables de respuesta se analizaron con el procedimiento GLM de SAS (2010) utilizando el PVI como covariable. Se estimaron los efectos principales de nivel y tipo de lisina. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($P \leq 0.10$; Steel *et al.*, 1997).

3.5. RESULTADOS

3.5.1 Crecimiento

El consumo de alimento (CAL) aumentó ($P \leq 0.06$) al incrementarse al contenido de lisina en la dieta (Cuadro 4); pero se redujo ($P \leq 0.07$) con la adición de lisina protegida. Este consumo fue máximo con 1.1% de lisina de ambas fuentes, sin diferencia estadística entre ellas ($P > 0.05$), y mínimo ($P \leq 0.10$) al aumentar el nivel de lisina en la dieta, pero sólo se observaron diferencias estadísticas al comparar ambas fuentes de lisina. La GDP fue mejor ($P \leq 0.10$) en cerdos alimentados con lisina sintética regular. Sin embargo, no hubo efectos significativos ($P > 0.10$) de fuente o nivel de lisina sobre CA. El peso vivo final (PVF) fue máximo con 1.0% de lisina sintética regular y mínimo con 0.9% de lisina protegida ($P \leq 0.06$); de hecho, aumentó ($P \leq 0.09$) a medida que se incrementó el nivel de lisina en la dieta de 0.9 a 1.0%, pero se redujo al aumentar la lisina de 1.0 a 1.1% ($P > 0.10$); en todos los tratamientos el PVF fue mayor ($P \leq 0.01$) en cerdos alimentados con lisina sintética regular. La GCM y AML no fueron afectados ($P > 0.10$) por el nivel de lisina en la dieta; sin embargo, la GCM ($P \leq 0.05$) y el AML ($P \leq 0.03$) fueron menores en cerdos que recibieron lisina protegida. No hubo efecto ($P > 0.10$) de nivel o fuente de lisina sobre GD, PCM en la canal y CUP.

3.5.2 Finalización I

El PVF aumentó ($P \leq 0.03$) al incrementarse el nivel de lisina en la dieta, siendo mayor ($P \leq 0.03$) con 0.85% de lisina sintética regular y menor con 0.75% (Cuadro 5); sin embargo, no hubo diferencias significativas ($P > 0.10$) entre fuentes de lisina utilizada. El AML también aumentó ($P \leq 0.003$) cuando se adicionó mayor concentración de lisina en la dieta; el mayor valor se presentó con 0.95% de lisina regular y menor con 0.75% de lisina protegida ($P \leq 0.10$). No se observaron efectos ($P > 0.10$) de nivel de adición o fuente de lisina sobre CAL, GDP, CA, GCM, PCM, GD y CUP.

3.5.3 Finalización II

El CAL aumentó ($P \leq 0.08$) cuando se agregó mayor concentración de lisina a la dieta (Cuadro 6); el mayor consumo se observó con 1.3% de lisina sintética regular y menor con 0.83% ($P > 0.10$); aunque la fuente de lisina no tuvo influencia sobre el CAL ($P > 0.10$). El PVF también aumentó ($P \leq 0.009$) con el incremento de la lisina en la dieta; el menor valor se encontró en cerdos alimentados con 0.83% de lisina sintética regular y el mayor peso con 1.03% de lisina protegida ($P \leq 0.009$). Sin embargo, no se encontró efecto de la fuente de lisina sobre el peso final de los cerdos. La concentración de urea en plasma aumentó ($P \leq 0.03$) cuando se agregó mayor concentración de lisina en la dieta; la mayor concentración se observó en los cerdos que recibieron la lisina sintética ($P \leq 0.06$). No se observó efecto del nivel o de la fuente de lisina sobre la GDP, CA, GCM, GD y AML ($P > 0.10$).

3.6. DISCUSIÓN

3.6.1 Crecimiento

Los mejores resultados encontrados en la mayoría de las variables en estudio con la mayor concentración de lisina en la dieta son congruentes con el mayor consumo de alimento observado en cerdos que recibieron el nivel de lisina más alto, lo que coincide con resultados obtenidos en otros estudios (Shelton *et al.*, 2011) y confirma que la lisina influye positivamente en el consumo de alimento (Cline *et al.*, 2000). Sin embargo, en algunos estudios se ha reportado el efecto contrario para esta (Jin *et al.*, 2010) u otras variables productivas (Colina *et al.*, 2013). El mayor consumo se reflejó en mejoría de la mayoría de las variables, aunque no redujo CUP, lo que indica que los cerdos utilizaron eficientemente el mayor contenido de nutrientes en el alimento, ya que no se afectó CA, GD ni PCM, lo que coincide con estudios previos (Ettle *et al.*, 2003; De la Llanta *et al.*, 2007). Al comparar diferentes niveles de lisina se observó una reducción en CUP (Coma *et al.*, 1995) y GD, aumento de AML (Paraksa *et al.*, 1999), o mejora en otras variables productivas (Hansen y Lewis, 1993; López *et al.*, 2010; Gutiérrez-Hernández, 2016); o incluso reducción en ellas al aumentar la lisina en la dieta (Martínez-Aispuro *et al.*, 2014). Los resultados del presente estudio indican que el requerimiento de lisina para cerdos del tipo genético como el utilizado en esta investigación, es mayor que el recomendado (0.90%) por NRC (2012). Lo anterior porque los cerdos respondieron mejor con 1.1%, nivel mayor que el 1.01% determinado

por Merino *et al.* (2005) como el óptimo para cerdos en crecimiento; y menor que el reportado por Paraksa *et al.* (1999) para máxima reducción de GD y máximo aumento del AML (1.25%). Las respuestas encontradas en la presente investigación y en los otros reportes podrían deberse a factores como: genética de los cerdos utilizados en cada caso, condiciones ambientales de cada explotación, calidad y tipo de materias primas utilizadas para elaborar el alimento (Rostagno *et al.*, 2011) y manejo general de los animales, entre otros.

Por otra parte, la adición de lisina protegida no mejoró los resultados obtenidos con lisina sintética regular, lo que indica que los cerdos en crecimiento utilizan más eficientemente el aminoácido sintético regular que el encapsulado, lo que coincide con resultados encontrados por otros investigadores (Prandini *et al.*, 2014). Esto probablemente se deba al material o compuesto con el cual se protege para su liberación más lenta en el intestino delgado. Lo anterior es contrario a lo encontrado por Cu *et al.* (2012), quienes al utilizar dos fuentes de lisina (L-Lisina HCl y sulfato de lisina) al mismo nivel (1.20%) en cerdos en crecimiento no encontraron diferencias en las variables productivas ni en las características de la canal.

3.6.2 Finalización I

El PVF y el AML mejoraron con el mayor nivel de lisina en la dieta (Schinckel *et al.*, 2003; Martínez-Aispuro *et al.*, 2014; Ma *et al.*, 2015), contrario a los resultados de otros estudios (Whitte *et al.*, 2000) en los que no hubo efectos significativos sobre características de la canal. Sin embargo, al no encontrarse cambios en CUP, indicaría que las dietas estuvieron bien balanceadas en AA y contenido total de proteína cruda, ya que cuando hay desbalance entre AA o exceso de PC aumenta la CUP (Coma *et al.*, 1995; Martínez *et al.*, 2009). La GD tampoco aumentó con el incremento en el nivel de lisina. El no observarse efectos significativos en las demás variables productivas y características de la canal estudiadas, coincide con los resultados de estudios similares al presente (Cu *et al.*, 2012).

3.6.3 Finalización II

Al igual que en la etapa de crecimiento, CAL y PVF aumentaron al incrementarse la lisina en la dieta, independientemente de la fuente del AA. En esta etapa, el nivel de lisina más alto de ambas fuentes fue igualmente benéfico para CAL y PVF; contrario a los resultados observados en otros estudios (Zhang *et al.*, 2011; Prandini *et al.*, 2014) quienes encontraron reducción de las variables

productivas con la adición de lisina protegida, aunque sin el uso de ractopamina, por lo que los requerimientos utilizados para formular la dieta fueron menores. Esta mejor respuesta en algunas variables se ha observado en cerdos alimentados con 1.05% de lisina (Pérez *et al.*, 2006), valor cercano al utilizado en esta investigación (1.01%) con el cual se observó mejor respuesta en algunas variables.

El mayor consumo de alimento provocó mayor CUP, lo que indica que hubo exceso de AA y/o de proteína cruda, por lo que su eliminación aumentó este metabolito sanguíneo. Este resultado no coincide con reportes que indican una disminución de la CUP al aumentar la concentración de lisina en la dieta (Zhang *et al.*, 2011; Martínez-Aispuro *et al.*, 2014; Ma *et al.*, 2015); sin embargo, se encontraron valores más bajos con lisina protegida (Prandini *et al.*, 2014), lo que indica que este tipo de aminoácido podría utilizarse para reducir la excreción de nitrógeno en las excretas porcinas.

3.7. CONCLUSIONES

Se mejora la respuesta de los cerdos en engorda al aumentar la concentración de lisina en la dieta hasta 1.0% en crecimiento, 0.95% en finalización I y 1.01% en finalización II (cuando se adiciona ractopamina). La lisina protegida no mejora la respuesta productiva y las características de la canal de cerdos en crecimiento y finalización, aunque la concentración de nitrógeno ureico en plasma en cerdos en finalización se redujo, por lo que la lisina protegida podría utilizarse para reducir la excreción de N en las excretas porcinas.

3.8. LITERATURA CITADA

- Ali, C. S., I. Din, M. Sharif, M. Nisa, A. Javaid, N. Hashimi, and M. Sarvar. 2009. Supplementation of ruminally protected proteins and amino acids: feed consumption, digestion and performance of cattle and sheep. *Int. J. Agric. Biol.* 11: 477-482.
- Andretta, I., M. Kipper, C. R. Lehen, A. B. Demori, A. Remus, and A. Lovatto. 2012. Meta-analysis of relationship between ractopamine and dietary lysine levels on carcass characteristics in pigs. *Livest. Sci.* 143: 91-96.

- Association of Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis. 15th Ed. Arlington, VA, USA. 128 p.
- Awawdeh, M. S. 2016. Rumen-protected methionine and lysine: effects on milk production and plasma amino acids of dairy cows with reference to metabolisable protein status. *J. Dairy Res.* 83: 151-155.
- Burson, D., and E. Berg. 2001. Procedures for estimating pork carcass composition. Pork quality facts. National Pork Producers Council; Des Moines, IA. 4 pp
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS). 2012. International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Geneva (Switzerland): CIOMS. 4 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 gilt. *J. Anim. Sci.* 78: 987-992.
- Colina, J. J., M. E Díaz, L. E. Manzanilla, H. E. Araque, F. E. Mora, and G. E. Martínez. 2013. Efectos de la relación entre lisina y energía metabolizable en la dieta sobre el desempeño productivo y características de la canal de cerdos en crecimiento. *Archivos Latinoamericanos de la Producción Animal* 4: 193-200.
- Coma, J., D. Carrion, and D. R. Zimmerman. 1995. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 472-481.
- Corassa, A., C. Kiefer, and L. M. P. Gonçãlves. 2013. Planos nutricionais de lisina para suínos da fase inicial a terminação. *Arch. Zootec.* 62: 533-542.
- Cu, R. K. S., S. P. Acda, E. A. Agbist, J. N F. Carandang, J. R. Centeno, and F. E. Merca. 2012. Efficacy of L-lysine sulfate as supplement in swine diets. *Philipp. J. Vet. Anim. Sci.* 38: 11-22.

- De La Llanta, M., S. S. Dritz, M. D. Tokach, R. D. Goodband, and J. L. Nelssen. 2007. Effects of increasing lysine to calorie ratio and added fat for growing-finishing pigs reared in a commercial environment. I. Growth performance and carcass characteristics. *Prof. Anim. Scientist*. 23: 417-428.
- Ettle, T., D. A. Roth-Maier, and F. X. Roth. 2003. Effect of apparent ileal digestible lysine to energy ratio on performance of finishing pigs at different dietary metabolizable energy levels. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 87: 269-279.
- García, E. 2004. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F: México 90 p.
- Gloaguen, M., N. Le Floch, E. Corrent, Y. Primot, and J. Van Milgen, 2014. The use of free amino acid allows formulating very low crude protein diets for piglets. *J. Anim. Sci.* 92:637-444.
- Gutiérrez-Hernández, S., J. L. Figueroa-Velasco, M. T. Sánchez Torres-Esqueda, A. S. Hernández-Cázarez, J. L. Cordero-Mora, and J. A. Martínez-Aispuro. 2016. Lisina y treonina digestible en dietas para cerdos en crecimiento. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(7): 33-41.
- Hansen, B. C., and A. J. Lewis. 1993. Effects of dietary protein concentration (corn: soybean meal ratio) on the performance and carcass characteristics of growing boars, barrows and gilts. *J. Anim. Sci.* 71: 2122- 2132.
- Jin, Y. H., H. K. Oh, L. G. Piao, S. K. Jang, Y. H. Choi, P. S. Heo, Y. D. Jang, and Y. Y. Kim. 2010. Effect of dietary lysine restriction and energy density on performance, nutrient digestibility and meat quality in finishing pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23: 1213-1220.
- Karl, R. F., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, y J. H. Conrad. 1979. *Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales*. 2a Ed. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Gainesville; Florida, EUA. 39 p.

- 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.
- Ma, W. F., X. F. Zeng, X. T. Liu, C. Y. Xie, G. J. Zhang, S. H. Zhang, and S. Y. Qiao. 2015. Estimation of the standardized ileal digestible lysine requirement and the ideal ratio of treonine to lysine for late finishing gilts fed low crude protein diets supplemented with crystalline amino acids. *Anim. Feed Sci. Technol.* 201:46-56.
- Martínez, M., J. L. Figueroa, M. J. González, J. L. Landero, and R. Medina. 2009. Optimal biological level of total lysine for finishing pigs fed sorghum-soybean meal diets. *J. Anim. Vet. Adv.* 6(10):1146-1151.
- Martínez-Aispuro, J. A., J. L. Figueroa-Velasco, J. L. Cordero-Mora, A. Ruiz-Flores, M. T. Sánchez-Torres, M. E. Ortega-Cerrilla y C. Narciso-Gaytán. 2014. Niveles óptimos biológicos de lisina para cerdos en crecimiento-finalización. *Revista Científica, FCV-LUZ/Vol. XXIV* 1: 64-72.
- Merino, C. B., R. S. Gómez e, I. J. A. Cuarón. 2005. Requerimientos de lisina digestible de cerdos de 14 a 50 kg de peso corporal sujetos a diferentes condiciones de manejo y alojamiento. *Téc. Pec. Méx.* 43: 139-153.
- Microsoft Excel. 2007. Microsoft Corporation. 1985- 2001. USA. Redmond, WA, USA.
- National Research Council (NRC). 2012. *Nutrient Requirements of Swine*. 11th Ed. National Academy Press, Washington, D. C. 400 p.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1999). 2001. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio. Ochoa M. L. I. *Diario Oficial de la Federación*: México, DF.
- Paraksa, N., K. Uthai, and C. Suchaet. 1999. Requirement of ileal digestible lysine for European growing and finishing pigs under tropical conditions. *Kasetsart J. Nat. Sci.* 33: 216-223.
- Pérez, A., N. E. Obispo, J. Palma, y C. F. Chicco. 2006. Efectos de la ractopamina y lisina sobre la deposición de grasa en cerdos seleccionados magros en la fase de engorde. *Zoot. Trop.* 24: 435-455.

- Prandini, A., S. Sigolo, M. Morlacchini, E. Grilli, and L. Fiorentini. 2013. Microencapsulated lysine and low-protein diets: effects on performance, carcass, characteristics and nitrogen excretion in heavy growing–finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 91: 4226-4234.
- Rostagno, H. S., L. F. Teixeira, J. L. Donzele, P. C. Gomes, R. F. Oliveira, D. C. Lopes, A. S. Ferreira, S. L. Toledo, y, E. R. F. Euclides. 2011. *Tablas Brasileñas para aves y cerdos: composición de alimentos y exigencias nutricionales*. Viçosa: UFV. 259 p.
- Sato, H., T. Seino, A. Korayashi, A. Murai, and Y. Yugari. 1984. Determination of the tryptophan content of feed and feedstuffs by ion exchange liquid chromatography. *Agric Biol Chem.* 48: 2961-2969.
- Schinckel, A .P., C. T. Herr, B. T. Richert, J. C. Forest, and M. E. Einstein. 2003. Ractopamine treatment biases in the prediction of pork carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81: 16-28.
- Shelton, N. W., M. D. Tokach, S. S. Dritz, R. D. Goodland, J. L. Nelssen, and J. M. DeRouchey 2011. Effects of increasing dietary standardized ileal digestible lysine for gilts grown in a commercial finishing environment. *J. Anim. Sci.* 89: 3587-3595.
- Steel, D, G. R., J. H. Torrie y D. A. Dickey. 1997. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. 2^a ed. McGraw-Hill. México, D. F. 622 p.
- Whitte, D. P., M. Millis, F. K. Mckeith, and E. R. Wilson. 2000. Effect of dietary lysine and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. *J. Anim. Sci.* 78: 1272-1276.
- Wu, G. 2009. Amino acids: metabolism functions and nutrition. *Amino Acids* 37: 1-17.
- Wu, G. 2010. Functional amino acids in growth, reproduction, and health. *Adv. Nutr.* 1: 31-37.
- Wu, G. 2013. Functional amino acids in nutrition and health. *Amino Acids* 45: 407-411.
- Zhang, G. J., Y. I. Xue-wu, C. Li-cui, L. Ning, H. John, and Q. Shi-yan. 2011. Effects of dietary net energy density and standardized ileal digestible lysine: net energy ratio on the performance and carcass characteristic of growing-finishing pigs fed low crude protein diets supplemented with crystalline amino acids. *Agric. Sci. China.* 10: 602-610.

Cuadro 3.1. Dietas experimentales para cerdos en crecimiento

| Tratamiento (T) | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ingrediente, % | | | | | | |
| Sorgo | 77.88 | 77.69 | 77.62 | 77.35 | 77.35 | 77.35 |
| Pasta de soya | 18.57 | 18.59 | 18.61 | 18.61 | 18.64 | 18.64 |
| Aceite de soya | 0.933 | 0.957 | 0.966 | 0.999 | 0.999 | 1.041 |
| L-lisina | 0.541 | 0.000 | 0.737 | 0.000 | 0.933 | 0.000 |
| DL-metionina | 0.156 | 0.156 | 0.156 | 0.156 | 0.156 | 0.157 |
| L-treonina | 0.101 | 0.101 | 0.101 | 0.101 | 0.101 | 0.101 |
| Premezcla de vitaminas ^A | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 |
| Premezcla de minerales ^B | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 |
| Lisina protegida | 0.000 | 0.684 | 0.000 | 0.932 | 0.000 | 1.180 |
| Sal común | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 |
| CaCO ₃ | 0.912 | 0.912 | 0.911 | 0.911 | 0.9111 | 0.911 |
| Ortofosfato | 0.255 | 0.257 | 0.258 | 0.260 | 0.260 | 0.264 |
| Contenido calculado (%): | | | | | | |
| Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹) | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 |
| Proteína cruda | 16.47 | 16.56 | 16.59 | 16.70 | 16.70 | 16.84 |
| Calcio | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| Fósforo | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| Lisina | 0.90 | 0.90 | 1.00 | 1.00 | 1.10 | 1.10 |
| Treonina | 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 |
| Metionina | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 |
| Met+Cis | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 0.57 |
| Análisis determinado % | | | | | | |
| Proteína cruda | 16.75 | 15.86 | 15.88 | 16.71 | 15.90 | 15.95 |
| Calcio | 0.62 | 0.65 | 0.63 | 0.64 | 0.63 | 0.66 |
| Fósforo | 0.30 | 0.28 | 0.28 | 0.27 | 0.29 | 0.30 |

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

Cuadro 3.2. Dietas experimentales para cerdos en finalización I

| Tratamiento (T) | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ingrediente, % | | | | | | |
| Sorgo | 82.13 | 81.97 | 81.86 | 81.63 | 81.96 | 81.29 |
| Pasta de soya | 14.53 | 14.57 | 14.57 | 14.57 | 14.60 | 14.65 |
| Aceite de soya | 0.854 | 0.874 | 0.887 | 0.915 | 0.920 | 0.957 |
| L-lisina | 0.446 | 0.000 | 0.642 | 0.000 | 0.838 | 0.000 |
| DL-metionina | 0.103 | 0.103 | 0.103 | 0.103 | 0.103 | 0.103 |
| L-treonina | 0.074 | 0.074 | 0.074 | 0.074 | 0.074 | 0.074 |
| Premezcla de vitaminas ^A | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 |
| Premezcla de minerales ^B | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 |
| Lisina protegida | 0.000 | 0.565 | 0.000 | 0.813 | 0.000 | 1.061 |
| Sal común | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 |
| CaCO ₃ | 0.866 | 0.866 | 0.866 | 0.865 | 0.865 | 0.865 |
| Ortofosfato | 0.341 | 0.343 | 0.344 | 0.346 | 0.347 | 0.350 |
| Contenido calculado (%): | | | | | | |
| Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹) | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 |
| Proteína cruda | 14.84 | 14.91 | 14.95 | 15.05 | 15.06 | 15.19 |
| Calcio | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| Fósforo | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| Lisina | 0.75 | 0.75 | 0.85 | 0.85 | 0.95 | 0.95 |
| Treonina | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 | 0.52 |
| Triptófano | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| Metionina | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| Met+Cis | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 | 0.48 |
| Análisis determinado % | | | | | | |
| Proteína cruda | 14.78 | 14.86 | 14.88 | 14.92 | 14.89 | 14.99 |
| Calcio | 0.63 | 0.61 | 0.64 | 0.65 | 0.66 | 0.64 |
| Fósforo | 0.30 | 0.28 | 0.28 | 0.27 | 0.29 | 0.30 |

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

Cuadro 3.3. Dietas experimentales para cerdos en finalización II

| Tratamiento (T) | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ingrediente, % | | | | | | |
| Sorgo | 80.13 | 79.95 | 79.86 | 79.61 | 79.59 | 79.27 |
| Pasta de soya | 16.53 | 16.56 | 16.57 | 16.61 | 16.61 | 16.65 |
| Aceite de soya | 0.840 | 0.860 | 0.87 | 0.91 | 0.91 | 0.95 |
| L-lisina | 0.500 | 0.0 | 0.700 | 0.0 | 0.900 | 0.0 |
| DL-metionina | 0.130 | 0.130 | 0.130 | 0.130 | 0.130 | 0.130 |
| L-treonina | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.100 |
| Premezcla de vitaminas ^A | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 |
| Premezcla de minerales ^B | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 | 0.175 |
| Lisina protegida | 0.000 | 0.640 | 0.000 | 0.890 | 0.000 | 1.130 |
| Sal común | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 |
| CaCO ₃ | 0.810 | 0.810 | 0.810 | 0.810 | 0.810 | 0.810 |
| Ortofosfato | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 | 0.300 |
| Contenido calculado (%): | | | | | | |
| Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹) | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 | 3.300 |
| Proteína cruda | 15.68 | 15.75 | 15.79 | 15.89 | 15.90 | 16.03 |
| Calcio | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
| Fósforo | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |
| Lisina | 0.83 | 0.83 | 0.93 | 0.93 | 1.03 | 1.03 |
| Treonina | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 0.57 | 0.57 |
| Triptófano | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 |
| Metionina | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Met+Cis | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 |
| Análisis determinado % | | | | | | |
| Proteína cruda | 14.95 | 15.60 | 15.40 | 15.81 | 15.70 | 15.90 |
| Calcio | 0.64 | 0.63 | 0.62 | 0.61 | 0.64 | 0.60 |
| Fósforo | 0.32 | 0.30 | 0.31 | 0.29 | 0.31 | 0.30 |

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

Cuadro 3.4. Comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con tres niveles y dos fuentes de lisina

| % Lis [†] | Tipo Lis | CAL [¶] (kg d ⁻¹) | GDP [§] (kg d ⁻¹) | CA ^b | PVF ^{††} (kg) | GCM (kg d ⁻¹) | PCM ^{§§} (%) | GD ^{b^b} (mm) | AML ^{xxx} (cm ²) | CUP ^{†††} (mg dL ⁻¹) |
|--------------------|-----------|---|---|-----------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|--|
| 0.90 | Regular | 1.99 ^{ab} | 0.68 | 2.91 | 54.71 ^{ab} | 0.25 | 29.01 | 9.29 | 21.50 | 21.64 |
| 0.90 | Protegida | 1.76 ^a | 0.66 | 2.75 | 53.18 ^a | 0.23 | 28.71 | 8.63 | 19.69 | 21.98 |
| 1.00 | Regular | 2.10 ^{ab} | 0.74 | 2.83 | 57.71 ^b | 0.27 | 28.77 | 9.14 | 21.49 | 23.21 |
| 1.00 | Protegida | 1.88 ^{ab} | 0.68 | 2.78 | 54.92 ^{ab} | 0.24 | 28.96 | 9.33 | 21.29 | 19.15 |
| 1.10 | Regular | 2.16 ^b | 0.73 | 2.94 | 56.26 ^{ab} | 0.26 | 29.52 | 9.13 | 22.46 | 22.05 |
| 1.10 | Protegida | 2.13 ^{ab} | 0.68 | 3.07 | 53.79 ^{ab} | 0.24 | 28.88 | 8.86 | 20.39 | 21.41 |
| SEM ^{¶¶¶} | | 0.09 | 0.03 | 0.13 | 1.11 | 0.013 | 0.35 | 0.29 | 0.78 | 2.63 |
| Valor P | | 0.05 | 0.35 | 0.58 | 0.06 | 0.38 | 0.61 | 0.50 | 0.16 | 0.93 |
| 0.90 | | 1.86 ^a | 0.66 | 2.82 | 53.90 ^a | 0.24 | 28.85 | 8.93 | 20.53 | 21.83 |
| 1.00 | | 2.0 ^{ab} | 0.70 | 2.80 | 56.42 ^b | 0.25 | 28.86 | 9.23 | 21.40 | 21.18 |
| 1.10 | | 2.14 ^b | 0.71 | 3.0 | 55.10 ^{ab} | 0.25 | 29.22 | 9.00 | 21.49 | 21.77 |
| SEM | | 0.07 | 0.02 | 0.09 | 0.79 | 0.01 | 0.24 | 0.21 | 55.39 | 1.86 |
| Valor P | | 0.02 | 0.29 | 0.30 | 0.09 | 0.50 | 0.49 | 0.58 | 0.39 | 0.96 |
| | Regular | 2.08 ^a | 0.71 ^a | 2.89 | 56.23 ^a | 0.26 ^a | 29.11 | 9.18 | 21.84 ^a | 22.27 |
| | Protegida | 1.91 ^b | 0.67 ^b | 2.86 | 53.88 ^b | 0.23 ^b | 28.84 | 8.90 | 20.38 ^b | 20.95 |
| SEM | | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.64 | 0.03 | 0.20 | 0.16 | 0.44 | 1.51 |
| Valor P | | 0.07 | 0.10 | 0.82 | 0.01 | 0.05 | 0.36 | 0.27 | 0.03 | 0.53 |

[†]Lis= Lisina; [¶]CAL= consumo de alimento; [§]GDP= ganancia diaria de peso; ^bCA= conversión alimenticia; GCM= Ganancia de carne magre, ^{††}PVF= peso vivo final; ^{¶¶}PCM= porcentaje de carne magra; ^{b^b}GD= grasa dorsal; ^{xxx}AML = área del músculo *Longissimus*; ^{†††}CUP= concentración de urea en plasma, ^{¶¶¶}EEM= error estándar de la media. ^{a,b,c,d} Medias con distintas letras son diferentes (P ≤ 0.10).

Cuadro 3.5. Comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en finalización I alimentados con tres niveles y dos fuentes de lisina

| % Lis [†] | Tipo Lis | CAL [¶] (kg d ⁻¹) | GDP [§] (kg d ⁻¹) | CA ^p | PVF ^{††} (kg) | GCM (kg d ⁻¹) | PCM ^{§§} (%) | GD ^{bp} (mm) | AML ^{xxx} (cm ²) | CUP ^{†††} (mg dL ⁻¹) |
|--------------------|-----------|---|---|-----------------|---------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--|--|
| 0.75 | Regular | 2.88 | 0.84 | 3.54 | 75.83 ^a | 0.31 | 28.39 | 11.83 | 26.73 ^a | 11.78 |
| 0.75 | Protegida | 3.13 | 0.95 | 3.36 | 80.80 ^{ab} | 0.33 | 27.72 | 10.80 | 25.81 ^a | 11.92 |
| 0.85 | Regular | 3.13 | 0.91 | 3.46 | 82.76 ^b | 0.34 | 27.88 | 10.60 | 27.02 ^a | 9.61 |
| 0.85 | Protegida | 2.77 | 0.90 | 3.11 | 79.86 ^{ab} | 0.35 | 28.84 | 10.71 | 28.86 ^{ab} | 13.48 |
| 0.95 | Regular | 3.32 | 0.93 | 3.58 | 83.42 ^b | 0.35 | 29.07 | 11.83 | 31.24 ^b | 11.92 |
| 0.95 | Protegida | 3.02 | 0.92 | 3.32 | 81.71 ^{ab} | 0.36 | 28.96 | 11.00 | 29.46 ^{ab} | 13.27 |
| SEM ^{¶¶¶} | | 0.17 | 0.06 | 0.24 | 1.62 | 0.01 | 0.40 | 0.59 | 1.06 | 2.84 |
| Valor P | | 0.22 | 0.80 | 0.74 | 0.03 | 0.53 | 0.12 | 0.72 | 0.10 | 0.88 |
| 0.75 | | 2.99 | 0.89 | 3.46 | 78.1 ^a | 0.32 | 28.09 ^a | 10.82 | 26.31 ^a | 11.85 |
| 0.85 | | 2.92 | 0.90 | 3.25 | 81.1 ^{ab} | 0.34 | 28.47 ^{ab} | 10.67 | 28.09 ^{ab} | 11.87 |
| 0.95 | | 3.16 | 0.92 | 3.44 | 82.5 ^b | 0.35 | 29.01 ^b | 11.38 | 30.28 ^b | 13.74 |
| SEM | | 0.12 | 0.04 | 0.18 | 1.15 | 0.01 | 0.28 | 0.42 | 75.29 | 2.01 |
| Valor P | | 0.33 | 0.77 | 0.65 | 0.03 | 0.23 | 0.07 | 0.42 | 0.003 | 0.73 |
| | Regular | 3.11 | 0.89 | 3.52 | 80.54 | 0.33 | 28.61 | 11.12 | 28.41 | 12.03 |
| | Protegida | 2.96 | 0.92 | 3.25 | 80.79 | 0.35 | 28.48 | 10.84 | 28.28 | 12.99 |
| SEM | | 0.10 | 0.03 | 0.14 | 0.94 | 0.01 | 0.23 | 0.35 | 0.62 | 1.65 |
| Valor P | | 0.27 | 0.62 | 0.19 | 0.97 | 0.32 | 0.79 | 0.56 | 0.70 | 0.68 |

[†]Lis= Lisina; [¶]CAL= consumo de alimento; [§]GDP= ganancia diaria de peso; ^pCA= conversión alimenticia; ^{††}PVF= peso vivo final; GCM= Ganancia de carne magra, ^{¶¶}PCM= porcentaje de carne magra; ^{bp}GD= grasa dorsal; ^{xxx}AML = área del músculo *Longissimus*; ^{†††}CUP= concentración de urea en plasma, ^{¶¶¶}EEM= error estándar de la media. ^{a,b,c,d} Medias con distintas letras son diferentes (P ≤ 0.10).

Cuadro 3.6. Comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma en cerdos en finalización II alimentados con tres niveles y dos fuentes de lisina

| % Lis [†] | Tipo Lis | CAL [¶] | GDP [§] | CA ^p | PVF ^{††} | GCM | PCM ^{§§} | GD ^{bp} | AML ^{xxx} | CUP ^{†††} |
|--------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|-------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| | | (kg d ⁻¹) | (kg d ⁻¹) | | (kg) | (kg d ⁻¹) | (%) | (mm) | (cm ²) | (mg dL ⁻¹) |
| 0.83 | Regular | 2.84 | 0.84 | 3.48 | 96.9 ^a | 0.31 | 27.82 | 14.50 | 32.90 | 12.84 |
| 0.83 | Protegida | 3.22 | 0.96 | 3.42 | 104.0 ^{ab} | 0.32 | 26.73 | 15.29 | 31.11 | 10.16 |
| 0.93 | Regular | 3.13 | 0.88 | 3.57 | 104.9 ^{ab} | 0.26 | 26.81 | 15.20 | 31.00 | 12.09 |
| 0.93 | Protegida | 2.79 | 0.84 | 3.33 | 100.9 ^{ab} | 0.29 | 27.58 | 15.33 | 33.49 | 10.47 |
| 1.03 | Regular | 3.48 | 0.85 | 4.10 | 106.5 ^b | 0.29 | 28.05 | 15.40 | 36.51 | 14.22 |
| 1.03 | Protegida | 3.31 | 0.91 | 3.67 | 108.2 ^b | 0.31 | 27.06 | 16.43 | 31.55 | 13.66 |
| SEM ^{¶¶¶} | | 0.21 | 0.06 | 0.24 | 2.18 | 0.02 | 0.36 | 0.87 | 3.16 | 1.08 |
| Valor P | | 0.15 | 0.73 | 0.31 | 0.009 | 0.75 | 0.11 | 0.71 | 0.84 | 0.11 |
| 0.83 | | 3.03 ^{ab} | 0.90 | 3.44 | 100.7 ^a | 0.31 | 27.23 | 14.92 | 31.93 | 11.40 ^a |
| 0.93 | | 2.94 ^a | 0.86 | 3.44 | 102.7 ^a | 0.27 | 27.23 | 15.27 | 32.36 | 11.21 ^a |
| 1.03 | | 3.38 ^b | 0.89 | 3.85 | 107.5 ^b | 0.30 | 27.82 | 16.00 | 33.61 | 13.90 ^b |
| SEM | | 0.14 | 0.04 | 0.17 | 1.56 | 0.02 | 0.25 | 0.62 | 2.26 | 0.78 |
| Valor P | | 0.08 | 0.81 | 0.14 | 0.009 | 0.40 | 0.16 | 0.43 | 0.85 | 0.03 |
| | Regular | 3.13 | 0.86 | 3.70 | 102.41 | 0.29 | 25.57 | 15.00 | 33.43 | 13.04 ^a |
| | Protegida | 3.12 | 0.90 | 3.48 | 104.61 | 0.30 | 27.31 | 15.70 | 31.97 | 11.48 ^b |
| SEM | | 0.01 | 0.06 | 0.14 | 1.26 | 0.01 | 0.21 | 0.50 | 1.83 | 0.63 |
| Valor P | | 0.86 | 0.34 | 0.22 | 0.28 | 0.40 | 0.32 | 0.34 | 0.55 | 0.06 |

[†]Lis= Lisina; [¶]CAL= consumo de alimento; [§]GDP= ganancia diaria de peso; ^pCA= conversión alimenticia; ^{††}PVF= peso vivo final; GCM= Ganancia de carne magra ^{¶¶}PCM= porcentaje de carne magra; ^{bp}GD= grasa dorsal; ^{xxx}AML = área del músculo *Longissimus*; ^{†††}CUP= concentración de urea en plasma, ^{¶¶¶}EEM= error estándar de la media. ^{a,b,c,d} Medias con distintas letras son diferentes (P ≤ 0.10)

CONCLUSIÓN GENERAL

La sustitución de metionina sintética regular por metionina protegida en la dieta mejora algunos parámetros productivos, de las características de la canal y la concentración de urea en plasma en cerdos de 50-100 kg de peso. Con un incremento de 0.05 a 0.10% en el nivel metionina, mejora la conversión alimenticia, ganancia diaria de peso, ganancia de carne magra y se reduce la grasa dorsal y la concentración de urea en plasma, lo que repercute en una disminución de la excreción de nitrógeno al ambiente.

La respuesta productiva y características de la canal de los cerdos en crecimiento y finalización se mejoran con el aumento en la concentración de lisina en la dieta, independientemente de la fuente; también se reduce la concentración de urea en plasma. La lisina protegida no mejora la respuesta productiva y las características de la canal de cerdos en crecimiento y finalización en comparación con lisina sintética regular. La concentración de nitrógeno ureico en plasma en cerdos en finalización se redujo con la lisina protegida, con la consecuente reducción de la excreción de N en las excretas porcinas.