



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD-GANADERÍA

### **META-ANÁLISIS DE DIETAS CON BAJA PROTEÍNA ADICIONADAS CON AMINOÁCIDOS SINTÉTICOS PARA CERDOS EN ENGORDA**

**MÓNICA GONZÁLEZ REYES**

## **T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTORA EN CIENCIAS**

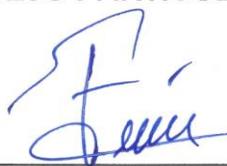
MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.

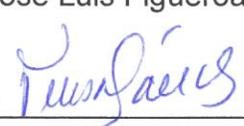
**2013**

La presente tesis, titulada: Meta-análisis de dietas con baja proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos para cerdos en engorda, realizada por la alumna: Mónica González Reyes, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTORA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD-GANADERÍA**

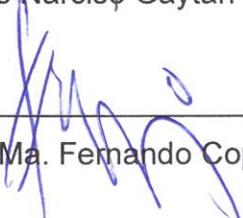
**CONSEJO PARTICULAR:**

Consejero:   
\_\_\_\_\_  
Dr. José Luis Figueroa Velasco

Asesor:   
\_\_\_\_\_  
Dra. Ma. Teresa Sánchez-Torres Esqueda

Asesor:   
\_\_\_\_\_  
Dra. María Esther Ortega Cerrilla

Asesor:   
\_\_\_\_\_  
Dr. Carlos Narciso Gaytán

Asesor:   
\_\_\_\_\_  
Dr. José Ma. Fernando Copado Bueno

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2013.

## RESUMEN

### META-ANÁLISIS DE DIETAS CON BAJA PROTEÍNA ADICIONADAS CON AMINOÁCIDOS SINTÉTICOS PARA CERDOS EN ENGORDA

Mónica González Reyes, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2013

Se han reportado resultados inconsistentes utilizando dietas bajas en proteína cruda formuladas con sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos que mantengan los resultados productivos y las características de la canal de cerdos alimentados con dieta estándar. Esto ha motivado a realizar un meta-análisis para combinar los resultados originales de estudios independientes. El conjunto de datos utilizados se basó en una línea de investigación sobre la alimentación de cerdos con dietas bajas en proteína en las etapas de iniciación, crecimiento y finalización. Se realizó un análisis de regresión lineal usando un modelo de superficie de respuesta con el comando RSREG de SAS (2009) para obtener el óptimo nivel de proteína para las variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma. Una vez que se analizaron los datos de los experimentos con el meta-análisis, se prosiguió a montar un experimento para corroborar los resultados de las regresiones con 20 cerdos machos castrados y 20 hembras (YorkshirexDuroc×Pietrain) en iniciación (11.5 Kg), crecimiento (25.36 Kg) y finalización (54.01 Kg), en respuesta a diferentes niveles de PC (16.5, 17.3, 18.10 y 19.25% en iniciación; n=10; 18.99, 15.11, 13.66 y 12.55% en crecimiento; n=10; y 12.8, 11.3 y 9.5% en finalización; n=12). El diseño experimental fue completamente al azar; cada cerdo se consideró una unidad experimental. El meta-análisis indicó que en iniciación disminuyó ganancia diaria de peso y ganancia de carne magra al bajar el nivel de proteína de 20.9 a 14.5% ( $P \leq 0.05$ ); en crecimiento, la ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, peso final, porcentaje de carne magra, área del músculo *longissimus* y urea en plasma fueron menores y la grasa dorsal mayor al bajar la PC ( $P \leq 0.05$ ); para finalización, la ganancia diaria de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, peso final, ganancia de carne magra, porcentaje de carne magra, área del músculo *longissimus* y concentración de urea en plasma disminuyeron al bajar la PC ( $P \leq 0.05$ ). En el experimento realizado para corroborar los

niveles óptimos de PC, para cerdos en iniciación no hubo diferencias en las variables analizadas, excepto que el porcentaje de carne magra fue mejor ( $P \leq 0.05$ ) cuando se utilizaron 16.5 y 19.25% PC. En crecimiento, ganancia diaria de peso, peso final y ganancia de carne magra disminuyeron ( $P \leq 0.05$ ) al bajar la PC de la dieta de 18.99 a 12.55% de PC. En finalización, ganancia de peso, consumo de alimento, peso final y ganancia de carne magra se redujeron ( $P \leq 0.05$ ) al bajar la PC de 12.8 a 9.5%. La concentración de urea en plasma se redujo ( $P \leq 0.05$ ) al disminuir la PC de la dieta en las tres etapas.

**Palabras clave:** cerdos, dietas bajas en proteína, meta-análisis.

## ABSTRACT

### META-ANALYSIS OF LOW-PROTEIN DIETS SUPPLEMENTED WITH CRYSTALLINE AMINO ACIDS FOR FATTENING PIGS

Mónica González Reyes, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2013

Inconsistent results have been reported on the effects of low-protein diets formulated with sorghum-soybean meal supplemented with synthetic AA to maintain the productive results of the standard diet for growth performance and carcass characteristics of fattening pigs. This has led to conduct a meta-analysis to combine the results of independent original studies. The data set used was based on a research line of feeding pigs with low-protein diets for nursery, growing and finishing phases of growth. A linear regression analysis was performed using a response surface model with the RSREG command of SAS (2009) to determine the optimum protein level for growth performance, carcass characteristics and plasma urea concentration. Once the meta-analysis was performed, an additional experiment was conducted to corroborate those values using 20 barrows and 20 gilts in nursery (11.5 kg), growing (25.36 kg) and finishing (54.01 kg) phases, in response to different levels of PC (19.25, 18, 10, 17.30 and 16.5% for nursery; n=10; 18.99, 15.11, 13.66 and 12.55% for growing; n=10; 12.8, 11.3 and 9.5% for finishing stage; n=12). The experimental design was a completely randomized; each pig was considered an experimental unit. The meta-analysis of nursery phase indicated that average daily gain and lean meat percentage decreased when lowering the protein level from 20.9 to 14.5% ( $P \leq 0.05$ ); in growing pigs, average daily gain, feed:gain ratio, body weight, lean meat percentage, *longissimus* muscle area and plasma urea nitrogen concentration decreased ( $P \leq 0.05$ ) while backfat thickness increased ( $P \leq 0.05$ ) when CP was reduced; for finishing phase, average daily gain, average daily feed intake, feed:gain ratio, body weight, fat free lean gain, lean meat percentage, *longissimus* muscle area and plasma urea concentration decreased by lowering dietary CP ( $P \leq 0.05$ ). In the experiment conducted to corroborate the optimal levels of PC, for nursery pigs there were no differences in the variables analyzed, except for lean meat percentage, which was higher ( $P \leq 0.05$ ) when fed 16.5 and 19.25%

CP. In growing pigs there was a reduction on average daily gain, body weight and fat free lean gain ( $P \leq 0.05$ ) when fed the lowest protein diet. For finishing pigs, average daily gain, average daily feed intake, body weight and fat free lean gain diminished ( $P \leq 0.05$ ) when lowering dietary CP from 12.8 to 9.5%. The plasma urea nitrogen concentration was reduced ( $P \leq 0.05$ ) with decreasing dietary PC in the three stages of growth.

**Keywords:** pigs, low-protein diets, meta-analysis.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad brindada para realizar mis estudios y complementar mi formación profesional y por el financiamiento de esta investigación.

Al Consejo Nacional de la Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico proporcionado.

Al Ph. D. José Luis Figueroa Velasco por su amistad, y su valiosa aportación no solo para la realización de esta tesis, sino también para mi formación profesional.

Al Dr. Humberto Vaquera Huerta por su apoyo brindado en la parte estadística del presente trabajo. Por su amistad.

A todos los integrantes del consejo particular, por la disponibilidad y tiempo dedicado para revisar y corregir esta tesis.

A los doctores del Colegio por sus importantes aportes académicos y enseñanzas.

Al MVZ José Luis Cordero, Manuel, Luis Ángel y Alfredo por el apoyo brindado en la fase experimental de esta tesis.

Al personal administrativo de Ganadería y del laboratorio de nutrición por su atención amable y servicial.

Al Fideicomiso Revocable de Investigación y Administración No. 167304 del Colegio de Postgraduados, por el apoyo financiero otorgado para realizar la fase de corroboración de resultados de esta investigación.

## DEDICATORIA

A Dios por guiarme y darme la oportunidad de superarme cada día, pero por sobre todo por su grandeza infinita al no desampararme en los momentos difíciles.

A mis padres Agustín y Guadalupe por ser un ejemplo a seguir y su gran amor.

A mis hermosas hijas **Karen y Regina** porque son las personas más importantes en mi vida. Gracias porque me dan alegría y amor.

A Manuel por todo su amor y apoyo.

A mis hermanos Esther, Gerardo y Eduardo por su apoyo incondicional y creer siempre en mí.

A mis sobrinos Ashely, Viridiana, Johana y Miguel por todo el cariño que me brindan.

A todas aquellas personas que hicieron de mi estancia durante el doctorado una experiencia grata.

# CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	3
III. OBJETIVOS.....	4
IV. HIPÓTESIS .....	4
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
5.1. Importancia de la proteína en la nutrición animal.....	5
5.2. Aminoácidos esenciales y no esenciales .....	6
5.3. Proteína ideal .....	7
5.4. Dietas bajas en proteína para cerdos .....	8
5.4.1. Comportamiento productivo en cerdos consumiendo dietas bajas en proteína .....	9
5.4.2. Características de la canal en cerdos consumiendo dietas bajas en proteína .....	11
5.4.3. Concentración de aminoácidos en plasma .....	12
5.4.4. Excreción de nitrógeno en cerdos alimentados con dietas bajas en proteína .....	13
5.5. Fases de un meta-análisis .....	14
CAPÍTULO I. DIETAS BAJAS EN PROTEINA PARA CERDOS EN INICIACIÓN: UN META-ANÁLISIS .....	26
1.1. RESUMEN.....	27
1.2. ABSTRACT .....	28
1.3. INTRODUCCIÓN.....	29
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	30
1.4.1. Base de datos y diseño experimental.....	30
1.4.2. Análisis estadístico .....	31
1.4.3. Experimento para corroborar el meta-análisis.....	32
1.5. RESULTADOS.....	33
1.5.1. Meta-análisis.....	33
1.5.2. Ecuaciones de predicción .....	33

1.5.3. Respuesta a los niveles óptimos de PC obtenidos del meta-análisis.....	34
1.6. DISCUSIÓN.....	34
1.6.1. Comportamiento productivo .....	34
1.6.2. Características de la canal .....	35
1.6.3. Concentración de urea en plasma.....	35
1.6.4. Niveles óptimos utilizados .....	36
1.7. CONCLUSIONES.....	36
1.8. LITERATURA CITADA .....	36
CAPITULO II. META-ANÁLISIS DEL EFECTO DE DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA	
CERDOS EN CRECIMIENTO.....	
2.1. RESUMEN.....	51
2.2. ABSTRACT .....	52
2.3. INTRODUCCIÓN.....	53
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	53
2.4.1. Base de datos y diseño experimental.....	53
2.4.2. Análisis estadístico .....	55
2.4.3. Experimento para corroborar el meta-análisis.....	55
2.5. RESULTADOS.....	56
2.5.1. Meta-análisis.....	56
2.5.2. Ecuaciones de predicción.....	57
2.5.3. Respuesta a los niveles óptimos de PC obtenidos en el meta-análisis .....	57
2.6. DISCUSIÓN.....	57
2.6.1. Comportamiento productivo .....	57
2.6.2. Características de la canal .....	58
2.6.3. Concentración de urea en plasma.....	59
2.6.4. Niveles óptimos utilizados .....	59
2.7. CONCLUSIONES.....	60
2.8. LITERATURA CITADA .....	60

CAPITULO III. META-ANALISIS DEL EFECTO DE DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS EN LA ETAPA DE FINALIZACIÓN .....	73
3.1. RESUMEN.....	74
3.2. ABSTRACT .....	75
3.3. INTRODUCCIÓN.....	76
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	76
3.4.1. Base de datos y diseño experimental .....	76
3.4.2. Análisis estadístico .....	78
3.4.3. Experimento para corroborar el meta-análisis.....	78
3.5. RESULTADOS.....	79
3.5.1. Meta-análisis.....	79
3.5.2. Ecuaciones de predicción .....	80
3.5.3. Respuesta a los niveles óptimos de PC obtenidos del meta-análisis.....	80
3.6. DISCUSIÓN.....	80
3.6.1. Comportamiento productivo .....	80
3.6.2. Características de la canal .....	81
3.6.3. Concentración de urea en plasma.....	81
3.6.4. Respuesta a los niveles óptimos de PC obtenidos.....	82
3.7. CONCLUSIONES.....	83
3.8. LITERATURA CITADA .....	83
VII. CONCLUSIONES GENERALES.....	96

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Aminoácidos encontrados en las proteínas.....	6
Cuadro 1.1. Resumen de los estudios utilizados para evaluar el comportamiento productivo, características de la canal y la concentración de urea en plasma en cerdos en iniciación. ....	41
Cuadro 1.2. Composición de las dietas experimentales para cerdos en iniciación.....	42
Cuadro 1.3. Meta-análisis del efecto de nivel de proteína cruda incluida en la dieta sobre el comportamiento productivo de cerdos en iniciación.....	43
Cuadro 1.4. Meta-análisis del efecto de nivel de proteína incluida en la dieta sobre las características de la canal y concentración de urea en plasma en cerdos en iniciación. ....	44
Cuadro 1.5. Nivel de proteína para obtener la mayor respuesta en el comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma en cerdos en iniciación.....	45
Cuadro 1.6. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre el comportamiento productivo en cerdos en iniciación.....	48
Cuadro 1.7. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre las características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación.....	49
Cuadro 2.1. Resumen de los estudios utilizados para evaluar el comportamiento productivo, características de la canal y la concentración de urea en plasma en cerdos en crecimiento .....	64
Cuadro 2.2. Nivel de proteína para obtener la mayor respuesta en el comportamiento productivo, característica de la canal y concentración de urea en plasma en cerdos en crecimiento.....	65
Cuadro 2.3. Composición de las dietas experimentales de cerdos en la etapa de crecimiento	66
Cuadro 2.4. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre el comportamiento productivo en cerdos en crecimiento.....	71
Cuadro 2.5. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre las características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento.....	72
Cuadro 3.1. Resumen de los estudios utilizados para evaluar el comportamiento productivo, características de la canal y la concentración de urea en plasma en cerdos en finalización .....	87

Cuadro 3.2. Nivel de proteína para obtener la mayor respuesta en la ganancia diaria de peso, consumo de alimento, concentración de urea en plasma y área del músculo <i>longissimus</i> de cerdos en finalización .....	88
Cuadro 3.3. Composición de las dietas para cerdos en finalización del experimento de corroboración de niveles óptimos de baja proteína .....	89
Cuadro 3.4. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre el comportamiento productivo en cerdos en finalización (experimento de corroboración).....	94
Cuadro 3.5. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre las características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en finalización .....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Rutas sintéticas para los aminoácidos esenciales y no esenciales. Adaptado de Boisen <i>et al.</i> (2000).....	5
Figura 2. Flujo de nitrógeno en cerdos. Adaptado de Ferket <i>et al.</i> (2002) .....	14
Figura 1.1. Curva de predicción para la máxima respuesta de GDP ( $R^2=0.593$ NPC=19.25%) y CA ( $R^2=0.593$ NPC= 17.3%) para cerdos en iniciación con dietas bajas en proteína .....	46
Figura 1.2. Curva de predicción para la menor respuesta de UREA ( $R^2=0.816$ NPC=12.10) y GDF ( $R^2=0.0.994$ NPC= 18.10%) para cerdos en iniciación con dietas bajas en proteína .....	47
Figura 2.1. Meta-análisis del efecto del nivel de PC incluida en la dieta de cerdos en crecimiento sobre las variables ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA) y conversión alimenticia (CA). .....	67
Figura 2.2. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en crecimiento sobre las variables grasa dorsal final (GDF) y ganancia de carne magra (GCM). .....	68
Figura 2.3. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en crecimiento sobre las variables porcentaje de carne magra final (%CMF) y peso final (PF). .....	69
Figura 2.4. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en crecimiento sobre las variables área del músculo <i>Longissimus</i> (AML) y concentración de urea en plasma (UREA).....	70
Figura 3.1. Meta-análisis del efecto del nivel de PC incluida en la dieta de cerdos en finalización sobre las variables ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA) y conversión alimenticia (CA).....	90
Figura 3.2. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en finalización sobre las variables grasa dorsal final (GDF) y ganancia de carne magra (GCM). .....	91
Figura 3.3. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en finalización sobre las variables porcentaje de carne magra final (%CMF) y peso final (PF). .....	92
Figura 3.4. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en finalización sobre las variables área del músculo <i>longissimus</i> (AML) y concentración de urea en plasma (UREA).....	93

## I. INTRODUCCIÓN GENERAL

Una dieta baja en proteína es la que proporciona todos los aminoácidos (AA) necesarios, al igual que las dietas estándar, pero sin excesos. Para disminuir la concentración de proteína de una dieta se utilizan AA sintéticos, ya que la inclusión de estos, especialmente L-lisina·HCL, es muy común en dietas para cerdos (Mavromichalis *et al.*, 1998). Los costos de proteína se pueden reducir mediante la sustitución de una parte de la fuente de proteína por AA sintéticos; aquí es donde los costos desempeñan su función positiva para el productor.

Cerdos alimentados con dietas bajas en proteína adicionadas con AA sintéticos (lisina, metionina, treonina y triptófano), excretan menos nitrógeno en heces. Desde el punto de vista ambiental, esta es una práctica deseable; sin embargo, comercialmente su aplicación no es tan amplia por la acumulación y distribución de la grasa en el cerdo. Las dietas bajas en proteína reducen la pérdida de energía (Le Bellego *et al.*, 2001) y aumentan la retención de energía metabolizable (EM) en tejidos corporales, principalmente grasa. Cuando no se agregan AA sintéticos a dietas bajas en proteína, se reduce la respuesta productiva y se afectan negativamente las características de la canal (Kerr *et al.*, 1995), lo que se refleja en menor ganancia de carne magra (GCM) y mayor grasa dorsal (GD).

La disminución de proteína cruda (PC) en dietas cereal-pasta de soya puede reducir la desaminación de los excesos de AA, la consecuente síntesis de urea y su excreción en la orina. Además, dietas bajas en proteína (DBP) pueden reducir el recambio de proteína corporal y la producción de calor corporal en cerdos (Noblet *et al.*, 1987; Roth *et al.*, 1999). Así, puede haber más energía disponible para síntesis de tejido adiposo, y mayor grosor de la grasa dorsal, aunque la ganancia de peso, la conversión alimenticia y la ganancia de carne magra sean similares en cerdos alimentados con dietas estándar o con menor PC (Figueroa *et al.*, 2002).

El meta-análisis es un método establecido para combinar los resultados cualitativos y cuantitativos de estudios independientes que poseen en común una misma intervención y un mismo punto final de resultado. Su objetivo es obtener una cobertura completa de todos los estudios pertinentes, buscar la presencia de

heterogeneidad, explorar la robustez de las conclusiones principales que utilizan análisis de sensibilidad. Además, evaluar la consistencia entre estudios de diferentes intervenciones realizadas con el mismo fin y generar un estimador del efecto (Van Houwelingen y Arends, 2002).

Originalmente, el meta-análisis se introdujo en la psicología y la medicina, pero hoy en día es cada vez más popular en la ciencia animal, en diferentes especies, tales como las aves de corral (Hooge y Connolly, 2011), ovinos (Prankel *et al.*, 2004), bovinos (Sauvant y Mertens, 2006) y cerdos (Sales y Jancík, 2011).

## II. JUSTIFICACIÓN

La producción intensiva de cerdos tienen fuerte impacto ambiental, el cual puede controlarse a través de la alimentación para aumentar el aprovechamiento y disminuir la excreción de los nutrientes contenidos en la dieta, como el nitrógeno (Honey, 1993). La alta emisión de amoníaco, a consecuencia del uso ineficiente de parte de la proteína aportada en la dieta de cerdos, puede ser menor si se reduce el contenido de este nutriente. Esta reducción en la proteína en dietas con base en sorgo-pasta de soya mantiene la respuesta productiva si la reducción es adecuada, pero en la carne producida es frecuente observar mayor grasa dorsal.

Con el uso de sorgo y pasta de soya como ingredientes principales en dietas de baja proteína no se ha podido determinar de manera consistente el porcentaje de reducción de PC, sin afectar la respuesta productiva de los cerdos en sus diferentes etapas productivas. Por estos motivos en el Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería se tiene una línea de investigación sobre la alimentación de cerdos en engorda con dietas bajas en proteína. Los datos de las investigaciones se encuentran publicados en revistas científicas, en manuscritos en proceso de arbitraje para su publicación, y en material todavía no publicado (tesis de maestría y doctorado) pero en proceso de elaboración de manuscritos.

El Meta-análisis es un procedimiento para combinar datos procedentes de estudios independientes, para el análisis cuantitativo, y es particularmente útil cuando hay un resultado reportado inconsistente o en conflicto y cuando el tamaño de muestra es pequeña, lo que limita el poder estadístico de los estudios individuales para detectar las diferencias (DeCoster, 2009).

El realizar un Meta-análisis para predecir posibles evoluciones de la utilización de DBP para cerdos en engorda, es una alternativa relativamente sencilla y económica para predecir los efectos del nivel de proteína de la dieta sobre los parámetros productivos y las características de la canal.

### **III. OBJETIVOS**

#### **General:**

Describir cuantitativamente por medio de un meta-análisis la respuesta productiva, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en engorda alimentados con dietas bajas en proteína, adicionadas con aminoácidos sintéticos a fin de obtener por medio de la ecuación de regresión el nivel óptimo de proteína en las diferentes variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma.

#### **Específicos:**

- Evaluar el nivel óptimo de proteína en el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en cada etapa de la engorda (iniciación, crecimiento y finalización).

### **IV. HIPÓTESIS**

- El comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación, crecimiento y finalización alimentados con dietas bajas en proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos se maximiza con el nivel óptimo de proteína para cada etapa.

## V. REVISIÓN DE LITERATURA

### 5.1. Importancia de la proteína en la nutrición animal

Las proteínas son constituyentes orgánicos esenciales de los organismos vivos y son los nutrientes que se hallan en mayor cantidad en el tejido muscular de los animales. Todas las células sintetizan proteínas durante la totalidad de su ciclo de vida, y sin la síntesis de proteína la vida no podría existir. La mayor parte de la proteína usada en ingredientes para formular dietas es de origen vegetal. Por consiguiente, el objetivo de la producción animal consiste en transformar las proteínas de origen vegetal en proteínas animales (Bondi, 1998) que eventualmente puede servir como una fuente nutritiva de alimentos para los seres humanos (Yin *et al.*, 2008). Las proteínas son el principal componente estructural y funcional de las células, y tienen numerosas e importantes funciones dentro del organismo (Figura 1), que van desde su papel catalítico (enzimas) hasta su función en la motilidad corporal (actina, miosina), pasando por su papel mecánico (elastina, colágeno), de transporte y almacén (hemoglobina, mioglobina, citocromos), protección (anticuerpos), reguladora (hormonas), entre otras (Gil, 2005).

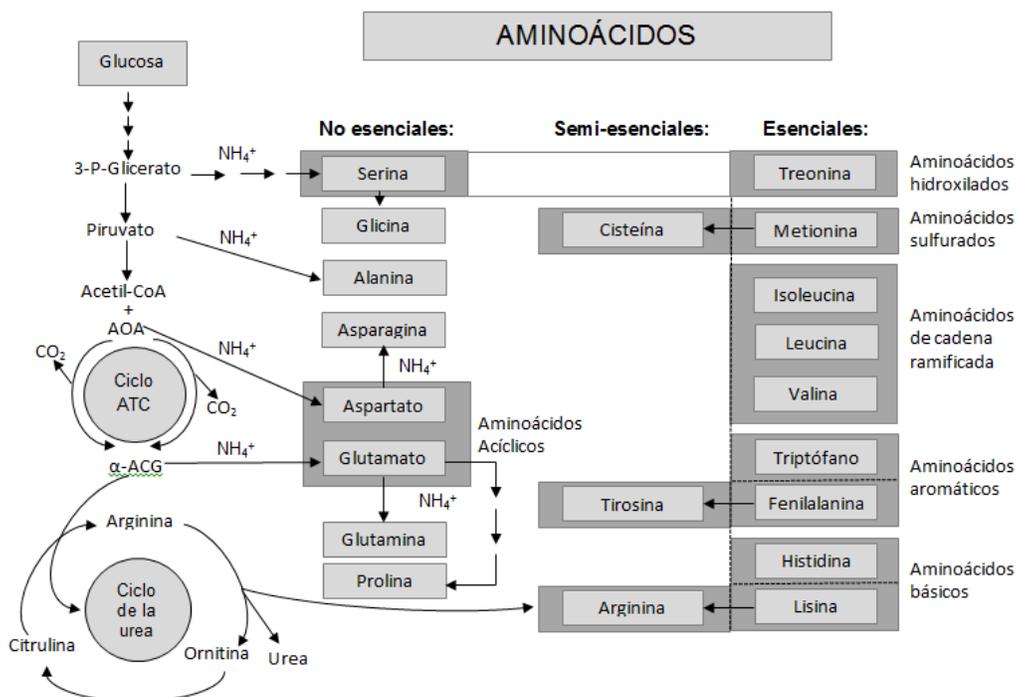


Figura 1. Rutas sintéticas para los aminoácidos esenciales y no esenciales. Adaptado de Boisen *et al.* (2000).

## 5.2. Aminoácidos esenciales y no esenciales

Las proteínas están constituidas por aminoácidos (AA), de los cuales 20 se encuentran en ellas. Los vegetales y la mayoría de los microorganismos sintetizan AA a partir de compuestos nitrogenados sencillos, como los nitratos, y de esqueletos carbonados. Los animales no pueden sintetizar el grupo amino, de modo que para sintetizar las proteínas deben recibir los AA en el alimento que consumen. Algunos AA pueden obtenerse a partir de otros, mediante el proceso denominado transaminación, pero los esqueletos carbonados de ciertos AA no pueden sintetizarse en el animal (McDonald, 1995). Todos los AA que se hallan en la naturaleza se encuentran en la configuración levógira (L), que es, con unas pocas excepciones, la forma más activa desde el punto de vista biológico. Los AA sintéticos por lo común se presentan como una mezcla de los isómeros L y D (dextrógiro; Church *et al.*, 2002). Aunque hay 20 AA primarios que componen las proteínas, no todos ellos son componentes esenciales de la dieta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Aminoácidos encontrados en las proteínas

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

Adaptado de Church *et al.* (2002)

Algunos AA pueden ser sintetizados mediante el uso de esqueletos de carbono (principalmente derivados de la glucosa y de otros AA) y grupos amino derivados de otros AA presentes cuando hay exceso de ellos en relación con su requerimiento. Los AA sintetizados de esta manera se denominan no esenciales (o dispensables). Los AA que no pueden ser sintetizados, o no pueden ser sintetizados a un ritmo suficiente para permitir el crecimiento o la reproducción óptima, se consideran esenciales (o indispensables), ya que una limitación en el aporte de ellos en el alimento conduce a un retraso en el crecimiento (Millward, 2003, 2004).

Desde el punto de vista nutricional, la proteína es un macronutriente presente en los alimentos. En la nutrición animal se refiere como proteína cruda (PC), que está definida como el contenido de nitrógeno (N) multiplicado por 6.25. Esta definición se basa en la suposición de que, en promedio, el contenido de N es de 16 g en 100 g de proteína. La importancia de la proteína presente en la dieta se debe a su capacidad de aportar AA, por lo tanto, la disposición dietética de AA en cantidades y proporciones correctas determina la idoneidad de un concentrado de proteínas de la dieta (NRC, 1998).

La fijación de proteínas es de alrededor del 16% (por cada 1000 g de aumento de peso, 160 g son de proteínas) para un animal de tipo magro y de 15% para uno no mejorado. Las necesidades varían entre los sexos, teniendo los animales machos enteros el mayor requerimiento seguido por las hembras y en menor medida por los machos castrados. El genotipo también influye dado que los animales mejorados para crecimiento de tejido magro presentan los mayores requerimientos y son capaces de responder con el máximo crecimiento ante el mayor consumo proteico (Whittemore *et al.*, 2001; Gaudré *et al.*, 2007).

### **5.3. Proteína ideal**

El concepto de “proteína ideal” fue propuesto por H. Mitchell y M. Scott de la Universidad de Illinois a finales de 1950's y comienzo de los 1960's. El objetivo básico es proporcionar una mezcla de AA esenciales que cumplan con los requerimientos de un animal para mantenimiento y acumulación de proteína sin deficiencias y sin excesos, esto para lograr optimizar la utilización de la proteína de la dieta (relación

entre retención y consumo de proteína) y minimizar la excreción de nitrógeno (Jason y Baker, 1977; Leclercq, 2000).

En la actualidad, este concepto ha cobrado gran interés en la producción de cerdos principalmente por el precio de la proteína, la creciente disponibilidad de AA sintéticos para alimentación animal (lisina, metionina, triptófano, treonina, valina, arginina y glutamina) y por la excesiva excreción de nitrógeno al ambiente cuando hay excesos de AA en la dieta. La nutrición porcina es el área más avanzada en la utilización del concepto de proteína ideal y en el estudio de la digestibilidad de AA individuales (Castañeda *et al.*, 1995).

La proteína ideal para cerdos puede calcularse con base en AA digestibles o totales. La proteína ideal con base en AA digestibles se obtiene usando los valores de digestibilidad ileal verdadera de los AA, ya que estos representan una estimación adecuada de los AA digestibles (NRC, 1998). Suponiendo un perfil ideal constante de AA con los requisitos de todos los AA esenciales pueden calcularse cuando el requisito de un AA individual ha sido determinado. Comúnmente, el perfil de AA se ha expresado en relación a la lisina. El argumento para el uso de la lisina ha sido que este AA es generalmente el primer AA limitante en la dieta y no se utiliza para la síntesis de otros compuestos nitrogenados (Boisen, 1997).

A pesar de ser factible formular bajo el concepto de proteína ideal, esto resulta complicado y costoso, porque se requiere de muchos ingredientes para alcanzar el perfil ideal de AA, o de utilizar todos los AA de fuente sintética, lo que no sería posible ya que son pocos los AA sintéticos existentes en el mercado. No obstante, este concepto puede ser útil para la formulación de dietas con baja proteína cubriendo las necesidades sólo de AA limitantes sin afectar tanto el costo de la dieta (Gómez *et al.*, 2002).

#### **5.4. Dietas bajas en proteína para cerdos**

Una dieta baja en proteína (DBP) es la que proporciona todos los AA necesarios, al igual que las dietas estándar, pero sin exceso. Para disminuir la concentración de

proteína de una dieta se utilizan AA sintéticos, y es donde los costos de producción desempeñan su función positiva para el productor (Mavromichalis *et al.*, 1998).

Los recientes avances en la determinación de las necesidades de AA para los cerdos y la disponibilidad cada vez mayor de AA industriales permiten la reducción del contenido de PC en la dieta mientras se mantiene el suministro de AA esenciales. Este tipo de dietas no tienen efecto negativo en la retención de N ni en el rendimiento, pero reducen marcadamente la excreción de N (Canh *et al.*, 1998). Sin embargo, hay una tendencia a una mayor deposición de grasa en la canal de cerdos cuando estos son alimentados con DBP adicionadas con AA sintéticos (Kerr y Easter, 1995; Tuitoek *et al.*, 1997).

Entre algunas características importantes de las DBP para la alimentación de cerdos, se encuentran las siguientes: a) se formula a partir de AA esenciales, por lo que la formulación es más exacta que al formular con base al requerimiento de PC; b) se reducen los excesos de AA en las DBP y se cubren las deficiencias al adicionar AA sintéticos; c) hay una disminución de hasta 50% en la excreción de nitrógeno (N) al ambiente en las explotaciones porcinas; d) el comportamiento productivo de cerdos en crecimiento es similar al observado en cerdos alimentados con dietas con PC estándar; e) por lo anterior, se reducen los costos de alimentación al disminuir la cantidad de pasta de soya en la dieta; y por último, d) tanto el contenido de PC en la dieta o el adicionar AA sintéticos, o ambos, pueden afectar la formación y las concentraciones de metabolitos derivados de la fermentación de proteína y/o AA por los microorganismos intestinales (Hobbs *et al.*, 1996; Canh *et al.*, 1998; Sutton *et al.*, 1999; Adeola y Sands, 2003).

#### **5.4.1. Comportamiento productivo en cerdos consumiendo dietas bajas en proteína**

Para cerdos en iniciación variando el porcentaje de PC y energía metabolizable (EM; Mcal kg<sup>-1</sup>) encontraron que es posible mantener un comportamiento productivo aceptable cuando se reduce la PC en seis unidades porcentuales (20.6 a 14.3%) y alrededor de 100 Kcal kg<sup>-1</sup> EM en dietas adicionadas con lisina, metionina, treonina y triptófano a base de sorgo-pasta de soya, comparada con dietas convencionales en

nutrimentos (Trujillo-Coutiño *et al.*, 2007). Por su parte Reynoso *et al.* (2004) hallaron que lechones de tres semanas de edad alimentados con dietas trigo-pasta de soya con 18.4% de PC presentaron 19.9% más consumo diario de alimento (CDA) que los que consumieron 20.3% PC. Por otra parte, cerdos que recibieron una dieta a base de maíz-trigo-pasta de soya disminuyeron tanto CDA, como ganancia diaria de peso (GDP) y eficiencia alimenticia (EA), conforme se redujo la cantidad de proteína en la dieta, observándose los valores más bajos con 17% de PC (Nyachoti *et al.*, 2006). Con una adecuada adición de AA es posible reducir el contenido proteínico en la dieta de cerdos en crecimientos hasta cuatro unidades porcentuales sin afectar la GDP y la EA, pero se presentan efectos negativos en algunas características de la canal (Figuroa *et al.*, 2002; Reynoso *et al.*, 2004). Hansen *et al.* (1993) evaluaron una dieta con 17% de PC con base en sorgo-pasta de soya adicionada con lisina, metionina y treonina y obtuvieron una respuesta similar a la observada con la dieta con 21% de PC en cerdos de 5 a 20 kg de peso.

En la etapa de crecimiento no hay diferencia en la GDP o CDA en cerdos alimentados con DBP comparado con el testigo (18 vs. 16%; Shriver *et al.*, 2003). Kephart y Sherritt (1990) observaron una menor EA y disminución en el crecimiento de cerdos de 18 a 35 kg cuando la concentración de proteína se redujo de 17 a 11%. Los porcentajes de PC en la dieta para obtener la mejor GDP y ganancia de carne magra (GCM) en cerdos en crecimiento, se situaron entre 13 y 14%; estas variables disminuyeron rápidamente entre 12 y 11% PC (Figuroa *et al.*, 2002). Cerdos castrados con alto potencial de crecimiento magro alimentados con DBP adicionadas con AA, tienen menor crecimiento que los cerdos alimentados con la dieta testigo, ya que al disminuir en cuatro unidades porcentuales el contenido proteínico hay deficiencia de AA esenciales y posiblemente otros nutrimentos (Gómez *et al.*, 2002). Esto puede deberse a que genotipos magros presentan mayores requerimientos de AA esenciales en relación con cerdos de genotipo no mejorado para esta característica, durante el periodo de rápido crecimiento (Mahan y Shields, 1998). La baja respuesta en crecimiento utilizando DBP+AA, puede atribuirse a la rápida absorción de AA sintéticos en relación a los derivados de proteína intacta, lo cual resulta en mayor oxidación de los AA libres (Batterham *et al.*, 1990). Sin embargo, se ha observado que la lisina y

otros AA pueden ser usados más eficientemente cuando su consumo es sub-óptimo (Chiba *et al.*, 1991), como sucede con las DBP donde la digestibilidad de los AA es mayor (Otto *et al.*, 2003). Figueroa *et al.* (2004) reduciendo el contenido de PC en la dieta de 16.5 a 12.5% y disminuyendo la EM de 3265 a 3065 Kcal kg<sup>-1</sup> en dietas para machos castrados y hembras en crecimiento, encontraron que la reducción de PC aumentó el consumo de alimento; en hembras incrementó la conversión alimenticia (CA) y redujo la GD. Al disminuir la EM en DBP, aumentó el consumo y la GCM, y en machos castrados incrementó el área del músculo *longissimus* (AML); la reducción total de EM disminuyó la GD en hembras.

En cerdos en finalización se ha observado que al disminuir la PC se reduce la GDP, el peso final, y GCM, y por el contrario, aumenta la CA, aunque hubo efecto en el CDA (Figueroa *et al.*, 2004). Figueroa *et al.* (2008) encontraron que la proteína puede disminuirse de 14 a 12.5% para cerdos en finalización y que al ser complementada con AA sintéticos no se afecta la respuesta productiva; esto lo confirmó Orlando *et al.* (2005) quienes, reducir de 17 a 12.1% la PC, no se afectó la respuesta productiva.

#### **5.4.2. Características de la canal en cerdos consumiendo dietas bajas en proteína**

Cuando se utilizan DBP para alimentar cerdos se obtiene menor proteína corporal y tasa de acumulación de proteína que los que consumen dietas estándar, lo cual puede deberse a la deficiencia de AA esenciales. Además, existe una disminución en la GCM y aumenta el grosor de la GD de los cerdos (Kerr *et al.*, 1995; Tuitoek *et al.*, 1997; Gómez *et al.*, 2002; Figueroa *et al.*, 2002). Esto se debe a una mayor disponibilidad de energía para la síntesis de lípidos, con la consecuente acumulación de tejido adiposo como resultado de la reducción en el gasto de energía para catabolizar el exceso de proteína en la dieta (Knowles *et al.*, 1998; Gómez *et al.*, 2002). En lechones, la reducción de 5.5 unidades porcentuales en la concentración de la proteína de la dieta, asociada con una adecuada adición de AA sintéticos, no afecta la acumulación de grasa y proteína corporal (Le Bellego y Noblet, 2002). Los cerdos alimentados con dieta formulada con 4.5 unidades porcentuales menos proteína, presentan tendencia a un mayor grosor de GD por el incremento en la energía neta disponible (Kendall *et al.*, 1998); consecuentemente, la retención de lípidos tiende a ser

mayor (Atakora *et al.*, 2003). En el caso del AML, esta disminuye linealmente al reducir la proteína cruda hasta en cuatro unidades porcentuales (Figuroa *et al.*, 2002; Kerr *et al.*, 2003). La disminución de la PC repercute en un pobre crecimiento del AML de cerdos en crecimiento y finalización alimentados con dietas maíz o sorgo-pasta de soya (Figuroa *et al.*, 2002, 2003, 2008) hallándose la menor AML con dietas que tuvieron 11% de PC. Por otra parte, la GD aumenta al adicionar histidina y valina a la dieta con 11% PC (Figuroa *et al.*, 2003); también Shriver *et al.* (2003), con 14% de PC y con la incorporación de AA sintéticos, vieron un aumento en la GD, pero no encontraron diferencias en GCM ni AML.

#### **5.4.3. Concentración de aminoácidos en plasma**

La concentración de urea en plasma (CUP) es un indicador confiable de rápida respuesta a los cambios en los niveles de PC y de AA en la dieta. Este metabolito sanguíneo es muy sensible a estos cambios, ya que los efectos de la dieta se detectan desde el tercer día, por lo que constituye una excelente herramienta para determinar las necesidades de estos nutrimentos, o lo adecuado de la dieta (Coma *et al.*, 1995a; Figuroa *et al.*, 2008). El metabolismo del N tiene una respuesta a cambios en la concentración de AA, pues se ha observado que la CUP cambia 24 horas después de modificar la cantidad de AA ofrecidos en la dieta y alcanza un nuevo equilibrio a los 2 o 3 días después de haber modificado la dieta (Coma *et al.*, 1995b). Trujillo-Coutiño *et al.* (2007) y Figuroa *et al.* (2008) reportan que la urea en plasma disminuye al reducir la concentración de PC en cerdos en iniciación. Martínez-Aispuro *et al.* (2009) encontraron una reducción lineal en la CUP en cerdas en crecimiento alimentadas con dietas sorgo-pasta de soya, adicionadas con AA sintéticos. La reducción de urea presumiblemente refleja un uso más eficiente del N total; por ello, los niveles más bajos de urea en cerdos pudieran indicar los niveles adecuados de AA debido a que hay una mayor retención de N (Coma *et al.*, 1995b; Deng *et al.*, 2007). Para cerdos en crecimiento se puede reducir la proteína en la dieta desde 16 hasta 11.5%, utilizando sorgo-pasta de soya y AA sintéticos, si la CUP se usa como indicador biológico del estado nutrimental de los cerdos; y hasta 10.48% utilizando la ecuación de predicción no lineal exponencial (Martínez-Aispuro *et al.*, 2009).

Abreu *et al.* (2007) observaron una respuesta cuadrática en la CUP de cerdos de 60 a 95 kg de PV, con diferente nivel de lisina en la dieta; dicha concentración se minimizó con 0.83% de lisina digestible. Otro AA que afecta la CUP es treonina, pues al aumentar en una dieta estándar para cerdos en crecimiento se observó una disminución en la CUP (López *et al.*, 2010). Por otra parte, Fabian *et al.* (2003) encontraron que la CUP en cerdos de 20 a 50 kg de dos líneas genéticas, una no mejorada y otra con alto potencial genético, fue de 15.3 y 11.5 mg dL<sup>-1</sup> de urea, respectivamente; lo que indica que las líneas con alto potencial genético son más eficientes en la utilización de proteína.

#### **5.4.4. Excreción de nitrógeno en cerdos alimentados con dietas bajas en proteína**

Los desechos producidos por la porcicultura generan compuestos que de alguna manera contribuyen al cambio climático, ya que mucho del N excretado se encuentra en forma de amoníaco que se va a la atmósfera y además afecta la salud de las personas y de los animales. Manipular la concentración de proteína en la dieta reduce las emisiones de amoníaco al medio ambiente, ya que la mayor parte del N alimenticio está presente en forma de proteína; el exceso no retenido en los tejidos corporales puede desecharse en heces y orina (Figura 2), después de ser o no metabolizado (Hartog y Sijtsma, 2007; Leek *et al.*, 2007). Al disminuir el contenido de proteína en la dieta adicionada con AA sintéticos se reduce la excreción de N manteniendo el comportamiento productivo (Le Bellego *et al.*, 2001); además, es una alternativa de bajo costo para controlar olores y la emisión de amoníaco en la producción porcina intensiva (Pitcairn *et al.*, 2002; Hayes *et al.*, 2004).

Los cerdos alimentados con DBP durante la engorda producen baja emisión de amoníaco (Panetta *et al.*, 2006), la cual es proporcional a la reducción en el contenido de proteína (Powers *et al.*, 2007). Esto se debe a menor excreción de N fecal y urinario (Akemi *et al.*, 2002; Gómez *et al.*, 2002), que en la etapa de crecimiento puede reducirse hasta en 84.72 y 46.65% para cada caso, mientras que en finalización se reduce 59.8 y 29.9% cuando en la dieta se disminuye la proteína en cuatro unidades porcentuales (Tartrakoon *et al.*, 2004). Un estudio hecho por Panetta *et al.* (2006) demostró que se llega a reducir de 13 a 50% en promedio las emisiones de amoníaco en

función de manipular la cantidad de proteína en la dieta para cerdos. La concentración de urea plasmática es menor hasta en 60% al bajar cuatro unidades porcentuales la proteína en dietas para cerdos en iniciación y crecimiento (Kendall *et al.*, 1998) y 36% en cerdos en finalización (Le Bellego *et al.*, 2002; Kerr *et al.*, 2003); se ha observado que la reducción es proporcional a la disminución de la proteína dietética (Figuroa *et al.*, 2002).

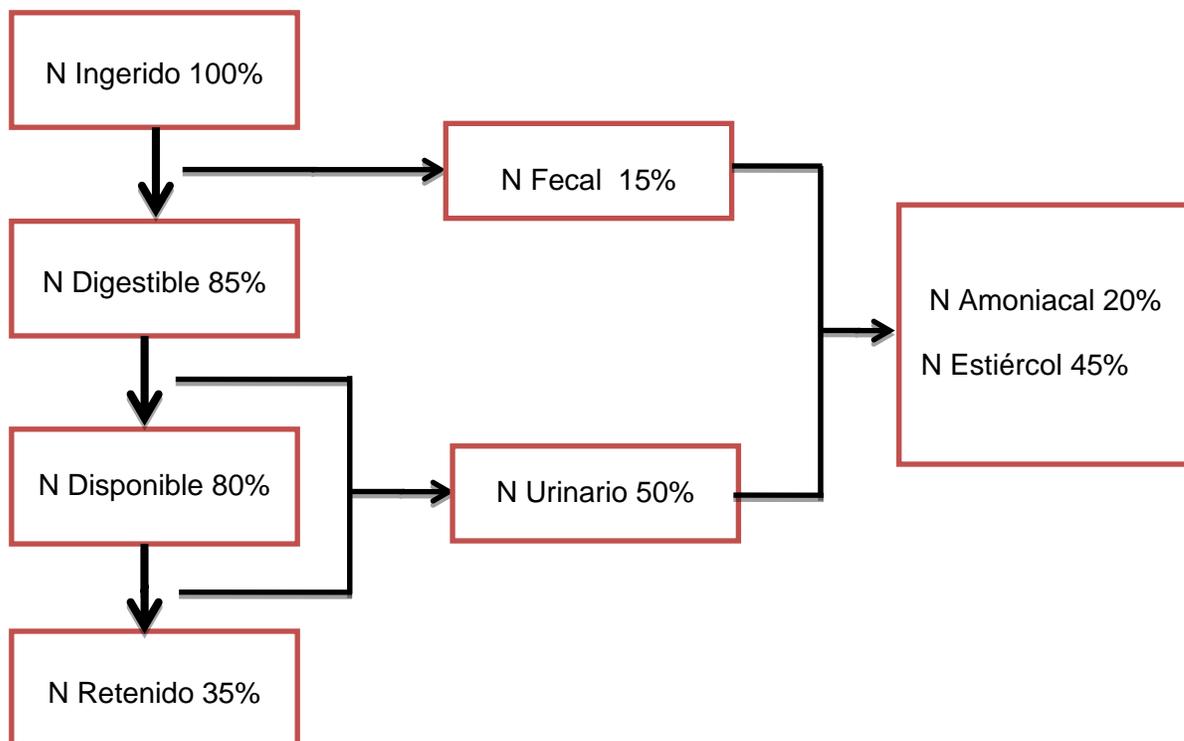


Figura 2. Flujo de nitrógeno en cerdos. Adaptado de Ferket *et al.* (2002)

### 5.5. Fases de un meta-análisis

Los meta-análisis son revisiones sistemáticas, objetivas y científicas, que se desarrollan a través de una serie de etapas claramente establecidas, y que son muy similares a las propias de cualquier investigación empírica: a) formulación del problema; b) búsqueda de la literatura; c) codificación de los estudios; d) análisis estadístico e interpretación, y e) publicación del meta-análisis (Glass, 1976; Marín-Martínez, *et al.*, 2007).

- a) Formulación del problema: al igual que en cualquier investigación empírica, el primer paso de un meta-análisis consiste en delimitar el problema objeto de la revisión, definiendo con precisión las variables y conceptos implicados. El problema de investigación va a determinar tanto los objetivos, como las características que han de tener los estudios que se incluyan en la revisión (Marín-Martínez *et al.*, 2009).
- b) Búsqueda de literatura: en los criterios de selección figuran el periodo temporal de realización de los estudios, el diseño de investigación que deberían tener, el lenguaje en el que estén escritos y otras características más específicas determinadas por los objetivos de cada meta-análisis. En cuanto a los procedimientos de búsqueda, deberían combinar la consulta de bases de datos bibliográficas especializadas (por ejemplo: Medline, Cochrane Central y PEDro) con otras estrategias de búsqueda, como la consulta de las referencias bibliográficas de trabajos relevantes y otros meta-análisis en el área de estudio. Asimismo, es muy importante recurrir a otros procedimientos menos sistemáticos que permitan la localización de estudios no publicados (tesis doctorales, comunicaciones presentadas en congresos, informes técnicos internos de centros de investigación; Sánchez-Meca y Ato-García, 1989; Huedo-Medina *et al.*, 2004).
- c) Codificación de las características y resultados de los estudios: los resultados van a variar de estudio a estudio por múltiples factores aleatorios, pero también por determinadas características diferenciales de los estudios que se pueden identificar y codificar. Tales características moderadoras de los resultados podrían explicar parte de su heterogeneidad. Para la codificación y el registro de las características moderadoras de los estudios, una cuestión esencial en meta-análisis es la forma en que se miden y registran los resultados, a través de índices cuantitativos del tamaño del efecto como el **odds ratio** (permite estimar el cociente de probabilidades cuando la probabilidad de un suceso es pequeña en diferentes grupos), la razón de riesgos o el coeficiente de correlación de Pearson (Moher *et al.*, 1999; Egger *et al.*, 2001).

- d) Análisis estadístico e interpretación: las técnicas de análisis habitualmente aplicadas responden a tres estrategias generales: 1) promediar los resultados o tamaños del efecto a través de los estudios; 2) evaluar la heterogeneidad de los resultados; y 3) para el caso de que se confirme que los resultados son heterogéneos, explicar tal heterogeneidad en función de las características diferenciales de los estudios integrados (Sánchez-Meca *et al.*, 1989; Peters *et al.*, 2006). Respecto a la interpretación de todos los análisis, es muy importante que junto con la significación estadística, los meta-análisis también informen de la significación de los tamaños del efecto medio obtenidos.
- e) Publicación del meta-análisis: una vez concluida la fase de análisis de datos e interpretación de los resultados, sólo nos queda emprender la redacción formal del estudio para su posterior publicación. La estructura que se sigue es similar a la de cualquier investigación científica; a saber: introducción, materiales y métodos, resultados y discusión. En la introducción se expone el problema de investigación, los objetivos del meta-análisis y sus hipótesis, en estrecha conexión con las conclusiones más relevantes de las investigaciones que ya trataron anteriormente el mismo problema, incluidas las revisiones y meta-análisis previos (Antman *et al.*, 1992; Antes y Oxman, 2001; Marín-Martínez *et al.*, 2009).

## VI. LITERATURA CITADA

- Abreu, M. L. T. de, J. L. Donzele, de O. R. F. Miranda, A. L. S. de Oliveira, F. de A. Santos, e A. A. Pereira. 2007. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 60 aos 95 kg. R. Bras. Zootec. 36(1): 54-61.
- Adeola, O., and J. S. Sands. 2003. Growth performance of growing pigs fed crude protein-adequate or deficient, low phosphorus diets with graded levels of phytase. Purdue University. Swine Research Report. Pp. 84-88.
- Akemi, Y., Eiji, F. Chieko, I. Minoru, I. Yuji, Y. I. Yohihilko, *et al.* 2002. Effect of feeding a reduced protein, amino acid-supplemented diet on the excretion of urine and nitrogen, and the ammonia emission from slurry in growing pigs. Jap. J. Swi. Sci. 39 (1): 301 (Abstr.).
- Antes, G., and A. D. Oxman. 2001. The Chochrane Collaboration in the 20th century. *In:* Egger M, Smith GD, Altman DG, editors. Systematic reviews in health care. Meta-analysis in context. 2 ° ed. London: BMJ Publishing Group. 447 p.
- Antman, E. M., J. Lau, B. Kupelnick, F. Mosteller, and T. C. Chalmers. 1992. A comparison of results of meta-analyses of randomized control trials and recommendations of clinical experts. Treatments for myocardial infarction. J.A.M.A. 268: 240–248.
- Atakora, J. K. A., S. Möhn, and R. O. Ball. 2003. Low protein diets reduce greenhouse gas production in finisher pigs while maintaining animal performance. 9<sup>th</sup> International Symposium on Digestive Physiology in Pigs, Banff, AB, Canada. Vol. 2: 296-298.
- Batterham, E. S., L. M. Andersen, D. R. Baigent and E. White. 1990. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. Br. J. Nutr. 64: 81-94.
- Boisen, S. 1997. Ideal protein – and its suitability to characterize protein quality in pig feeds. A review. Acta Agric. Scand. Sect. A. Anim. Sci. 47: 31–38.

- Boisen, S., T. Hvelplund, and M. R. Weisbjerg. 2000. Ideal amino acid profiles as a basis for feed protein evaluation. *Livest. Prod. Sci.* 64: 239-251.
- Bondi, A. A. 1998. *Nutrición animal*. Editorial Acribia. 1ª ed. Zaragoza, España. 565 p.
- Canh, T. T., A. J. A. Aarnink, J. B. Schutte, A. Sutton, D. J. Langhout, and M. W. A. Verstegen. 1998. Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 56: 181-191.
- Castañeda, S. J., D. Sierra, y J. A. Cuarón. 1995. Lisina en función de la proteína, cuando se formula a un perfil ideal de aminoácidos para cerdos en crecimiento. Memoria del VII Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal. 187 p.
- Chiba, L.I., A.J. Lewis, and E.R. Peo, Jr. 1991. Amino acid and energy interrelationship in pigs weighing 20 to 50 kilograms: II. Rate and efficiency of protein and fat deposition. *J. Anim. Sci.* 69: 708-718.
- Church, D. C., W. G. Pond, and K. R. Pond. 2002. *Fundamentos de nutrición y alimentación animales*. Editorial Limusa-Wiley. 2ª ed. México D. F. 635 p.
- Coma, J. D., D. Carrion, and D. R. Zimmerman. 1995a. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs *J. Anim. Sci.* 73: 472-481.
- Coma, J. D., D. Carrion, and D. R. Zimmerman. 1995b. Interactive effects of feed intake and stage of growth on the lysine requirement of pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 3369-3375.
- DeCoster, J. 2009. Meta-Analysis Notes. Accessed June 2012. From: <http://www.stat-help.com/notes.html>
- Deng, D., Ai-Ke Li, W. Y. Chu, R. L. Huang, T. J. Li, X. F. Kong, Z. J. Liu, *et al.* 2007. Growth performance and metabolic responses in barrows fed low-protein diets supplemented with essential amino acids. *Livest. Sci.* 109: 224–227.
- Egger, M., G. D. Smith, and D. G. Altman. 2001. *Systematic reviews in health care. Meta-analysis in context*. 2<sup>nd</sup> ed. London: BMJ Publishing Group. 150 p.

- Fabian, J., L. I. Chiba, L. T. Frobish, W. H. McElhenney, D. L. Kuhlers, and K. Nadarajah. 2003. Compensatory growth and nitrogen balance in grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 2579-2587.
- 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: 168-182.
- Figueroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.
- Figueroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, and R. M. Diedrichsen. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. Anim. Sci.* 81: 1529-1537.
- Figueroa, J. L., R. M. Cervantes, J. M. Cuca, y M. Méndez. 2004. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia.* 38: 383-394.
- Figueroa, J. L., M. Martínez, J. E. Trujillo, V. Zamora, J. L. Cordero, and M. T. Sánchez-Torres. 2008. Plasma urea nitrogen concentration and growth performance of finishing pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets. *J. Appl. Anim. Res.* 33: 7-12.
- Gaudré, D., L. Le Bellego, R. Granier, V. Ernardorena, and N. Quiniou. 2007. Effects of digestible lysine to net energy ratio over the 12-25 kg body weight range on weanling pigs growth performance. *Journées de la Recherche Porcine.* 39: 103-110.
- Gil, A. 2005. Tratado de nutrición. Tomo 1. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Ed. Acción Médica. Madrid. 561 p.
- Glass, G. V. 1976. Primary, secondary and meta-analysis of research. *Educational Researcher.* 10: 3-8.

- Gómez, S., A. J. Lewis, P. S. Miller, and H. Y. Chen. 2002. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993. Amino acid supplementation of low-protein, sorghum-soybean meal diets for 5- to 20-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71(2): 452-458.
- Hartog, L., y R. Sijtsma. 2007. Estrategias nutricionales para reducir la contaminación ambiental en la producción de cerdos. XXIII Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España. pp. 24.
- Hayes, E. T., A. B. G. Leek, T. P. Curran, V. A. Dodd, O. T. Carton, V. E. Beattie, *et al.* 2004. The influence of diet crude protein level on odour and ammonia emissions from finishing pig houses. *Biores. Technol.* 91: 309–315.
- Honeyman, S. M. 1993. Environment-friendly swine feed formulation to reduce nitrogen and phosphorus excretion. *Am. J. Alternative Agr.* 3(8): 128-132.
- Huedo-Medina, T., J. Sánchez-Meca, y F. Marín-Martínez. 2004. La estimación del tamaño del efecto medio en un meta-análisis: Una comparación entre los modelos de efectos fijos y aleatorios [Estimating an average effect size in meta-analysis: A comparison between fixed- and random-effects models]. *Metodología de las Ciencias del Comportamiento, Volumen Especial*, 307-315.
- Hobbs, P. J., B. F. Pain, R. M. Kay, and P. A. Lee. 1996. Reduction of odorous compounds in fresh pig slurry by dietary control of crude protein. *J. Sci. Food Agric.* 71: 508-514.
- Hooge, M. D., and A. C. Connolly. 2011. Meta-analysis summary of broiler chicken trials with dietary antigen. *Int. J. Poultry Sci.* 10 (10): 819-824.
- Jason, L. E., and D. H. Baker. 1977. Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. *J. Appl. Poultry Res.* 6: 462-470.

- Kendall, D. C., K. M. Lemenger, B. T. Richert, A. L. Sutton, J. W. Frank, B. A. Belstra, *et al.* 1998. Effects of intact protein diets versus reduced crude protein diets supplemented with synthetic amino acid on performance and ammonia levels in swine buildings. Purdue University. Swine Day. pp 141-146.
- Kephart, K. B., and G. W. Sherritt. 1990. Purdue and nutrient balance in growing swine fed low-protein diets supplemented with amino acids and potassium. *J. Anim. Sci.* 68: 1999-2008.
- Kerr, B. J., and R. A. Easter. 1995. Effect of feeding reduced protein, amino acid supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 3000-3008.
- Kerr, B. J., F. K. McKeith, and R. A. Easter. 1995. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 73: 433-440.
- Kerr, B. J., L. L. Southern, T. D. Bidner, K. G. Friesen, and R. A. Easter. 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81: 3075-3087.
- Knowles, T. A., L. L. Southern, T. D. Bidner, B. J. Kerr, and K. G. Friesen. 1998. Effect of dietary fiber or fat in low-crude protein, crystalline amino acid-supplemented diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 2818-2832.
- Le Bellego, L., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 1259-1271.
- Le Bellego, L., and J. Noblet. 2002. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. *Livest. Prod. Sci.* 76(1-2): 45-58.
- Leclercq, B. 2000. El concepto de proteína ideal y el uso de aminoácidos sintéticos: estudio comparativo entre pollos y cerdos. XIV Curso de Especialización Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Barcelona España. pp 13.

- Leek, A. B. G., E. T. Hayes, T. P. Curran, J. J. Callan, V. E. Beattie, V. A. Dodd, *et al.* 2007. The influence of manure composition on emissions of odour and ammonia from finishing pigs fed different concentrations of dietary crude protein. *Biores. Technol.* 98: 3431–3439.
- López, M., J. L. Figueroa, M. J. González, L. A. Miranda, V. Zamora, and J. L. Cordero. 2010. Digestible lysine and threonine levels in sorghum-soybean meal diets for growing pigs. *Archivos de Zootecnia.* 59: 205–216.
- Mahan, D. C., and R. G. Shields. 1998. Essential and nonessential amino acid composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight, and comparison to other studies. *J. Anim. Sci.* 76: 513-521.
- Marín-Martínez, F., J. Sánchez-Meca, T. Huedo y I. Fernández. 2007. Meta-análisis: ¿dónde estamos y hacia dónde vamos? *In:* Borges A., Prieto P., editores. *Psicología y Ciencias Afines en los Albores del Siglo XXI (Homenaje al profesor Sánchez Bruno)*. Granada: Grupo Editorial Universitario. Pp. 87-102.
- Marín-Martínez, F., M. Sánchez y J.A. López. 2009. El meta-análisis en el ámbito de la salud: una metodología imprescindible para la eficiente acumulación del conocimiento. *Elsevier España, S.L. Fisioterapia.* 31(3):107-114.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, *et al.* 2009. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína. *Vet. Mex.* 40: 27-38.
- Mavromichalis, I., D. M. Webel, J. L. Emmert, R. L. Moser, and D. H. Baker. 1998. Limiting order of amino acids in a low-protein, corn-soybean meal-whey-based diet for nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 2833-2837.
- McDonald, E.G.M. 1995. *Nutrición animal*. Editorial Acribia. 5ª ed. Zaragoza, España. 576 p.

- Millward, D. J. 2003. AA: Protein/energy ratio of current diets in developed and developing countries compared with a safe protein/energy ratio: implications for recommended protein and amino acid intakes. *Public Health Nutrition*. 7: 387-405.
- Millward, D. J. 2004. Macronutrient intakes as determinants of dietary protein and amino acid adequacy. *J. Nutr.* 134: 1588S-1596S.
- Moher, D., D. J. Cook, and S. Eastwood. 1999. Improving the quality of reports of meta-analyses of randomised controlled trials: the QUOROM statement. *Quality of Reporting of Meta-analyses*. *Lancet*. 354: 1896–1900.
- Noblet, J., Y. Henry, and S. Dubois. 1987. Effect of protein and lysine levels in the diet on body gain composition and energy utilization in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 65: 717-726.
- NRC. 1998. *Nutrient Requirements of swine*. 10th ed. National Academy Press. Washington, D.C. Pp. 110-123.
- Nyachoti, C. M., F. O. Omogbenigun, M. Rademacher and G. Blank. 2006. Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early-weaned pigs fed low-protein amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 84: 125-134.
- Orlando, D. U. A., R. F. M. Oliveira de, J. L. Donzele, A. S. Ferreira, F. C. O. Silva, R A. R. Generoso, *et al.* 2005. Níveis de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para leitões mantidas em ambiente de conforto térmico dos 30 aos 60 kg. *Rev. Bras. Zoot.* 34: 134-141.
- Otto, E. R., M. Yokoyama, P. K. Ku, N. K. Ames, and N. L. Trottier. 2003. Nitrogen balance and ileal amino acid digestibility in growing fed diets reduced in protein concentration. *J. Anim. Sci.* 81: 1743-1753.
- Panetta, D. M., W. J. Powers, H. Xin, B. J. Kerr, and K. J. Stalder. 2006. Nitrogen excretion and ammonia emissions from pigs fed modified diets. *J. Environ. Qual.* 35: 1297-1308.

- Peters, J. L., A. J. Sutton, D. R. Jones, K. R. Abrams, and L. Rushton. 2006. Comparison of two methods to detect publication bias in meta-analysis. *J.A.M.A.* 295: 676–680.
- Pitcairn, C. E. R., U. M. Skiba, M. A. Sutton, D. Fowler, R. Munro, and V. Kennedy. 2002. Defining the spatial impacts of poultry farm ammonia emissions on species composition of adjacent woodland ground flora using Ellenberg Nitrogen Index, nitrous oxide and nitric oxide emission and foliar nitrogen as marker variables. *Environmental Pollution* 119: 9–21.
- Powers, W. J., S. B. Zamzow, and B. J. Kerr. 2007. Reduced crude protein effects on aerial emissions from swine. *Appl. Eng. Agr.* 23(4): 539-546.
- Prankel, S., R. M. Nixon, and C. J. C. Phillips. 2004. Meta-analysis of feeding trials investigating cadmium accumulation in the liver and kidney of sheep. *Environmental Research*, 94 (2): 171-183.
- Reynoso, E., M. Cervantes, J. L. Figueroa, and J. M. Cuca. 2004. Productive response of pigs to low-protein diets added with synthetic amino acids and yeast culture. *Cuban J. Agri. Sci.* 38: 269-275.
- Roth, F. X., G. G. Gotterbarm, W. Windisch, and M. Kirchgessner. 1999. Influence of dietary level of dispensable amino acids on nitrogen balance and whole-body protein turnover in growing pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 81: 232-238.
- Sales, J., and F. Jancík. 2011. Effects of dietary chromium supplementation on performance, carcass characteristics, and meat quality of growing- finishing swine: A meta-analysis. *J. Anim. Sci.* 89(12): 4054-4054.
- Sánchez-Meca, J., y M. Ato-García. 1989. Meta-análisis: una alternativa metodológica a las revisiones tradicionales de la investigación. *In*: J. Arnau, H. Carpintero, editores. *Tratado de psicología general I: historia, teoría y método*. Madrid: Alhambra. Pp. 617–69.
- Sauvant, D., and D. R. Mertens. 2006. Meta- analysis of ruminal digestive responses of cattle to dietary NDF. *J. Dairy Sci.* 89 (Supplement 1): 261 (Abstr.).

- Shriver, J. A., S. D. Carter, A. L. Sutton, B. T. Richert, B. W. Senne, and L. A. Pettey. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81 (2): 492-502.
- Sutton, A. L., K. B. Kephart, M. W. A. Verstegen, T. T. Canh, and P. J. Hobbs. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *J. Anim. Sci.* 77: 430-439.
- Tartrakoon, W., K. Wuthijaree, and K. Udomsri. 2004. Reduction of N-excretion in growing-finishing pigs using low protein diets. Rural Poverty Reduction through Research for Development. Deutscher Tropentag, October 5-7, Berlin.
- Trujillo-Coutiño, J. E., J. L. Figueroa-Velasco, M. Martínez-Aispuro, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, T. M. Sánchez-Torres, *et al.* 2007. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. *Agrociencia.* 41: 597-607.
- Tuitoek, J. K., L. G. Young, C. F. M. de Lange, and B. J. Kerr. 1997. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: An evaluation of the ideal protein concept. *J. Anim. Sci.* 75: 1575-1583.
- Van Houwelingen, H.C., and L.R. Arends. 2002. Advanced methods in meta-analysis: multivariate approach and meta-regression. *Statistics in Medicine.* 21(4): 589 (Abstr.).
- Yin, Y. L., T. J. Li, R. L. Huang, Z. Q. Liu, X. F. Kong, W. Y. Chu, *et al.* 2008. Evaluating standardized ileal digestibility of amino acids in growing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 140: 385–401.
- Whittemore, C. T., D. M. Green, and P. W. Knap. 2001. Technical review of the energy and protein requirements of growing pigs: protein. *Anim. Sci.* 73: 363-373.

**CAPÍTULO I.**  
**DIETAS BAJAS EN PROTEINA PARA CERDOS EN INICIACIÓN: UN META-  
ANALISIS**

# DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS EN INICIACIÓN: UN META-ANÁLISIS

## 1.1. RESUMEN

Se realizó un meta-análisis con datos originales de siete experimentos con 240 cerdos híbridos en iniciación alojados individualmente, alimentados con dietas con baja proteína. Se evaluó el comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma. Se realizó análisis de varianza y de regresión utilizando un modelo de superficie de respuesta con el procedimiento RSGEG de SAS (2009) tomando en cuenta el nivel de proteína cruda (PC), y efecto del experimento, año, época del año, tipo y nivel del aditivo alimenticio agregado; se determinaron los niveles óptimos de PC (19.25, 18.1, 17.3 y 16.5%), los cuales se corroboraron con un experimento adicional utilizando 40 cerdos híbridos en iniciación con 11.5 kg de peso inicial durante 21 días, en un diseño completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento. El meta-análisis indicó que la ganancia diaria de peso, ganancia de carne magra y urea en plasma disminuyen al bajar la PC ( $P \leq 0.05$ ); y la conversión alimenticia mejora cuando se reduce la PC ( $P \leq 0.05$ ). En el experimento realizado para corroborar los niveles óptimos de PC, no hubo diferencias en las variables analizadas, excepto para porcentaje de carne magra, que mejoró ( $P \leq 0.05$ ) cuando se utilizaron 16.5 y 19.25% PC.

**Palabras clave:** dietas bajas en proteína, meta-análisis, cerdos en iniciación.

## LOW-PROTEIN DIETS FOR NURSERY PIGS: A META-ANALYSIS

### 1.2. ABSTRACT

We performed a meta-analysis with original data from seven experiments with 240 hybrid pigs housed individually initiation, fed low-protein diets. We evaluated the productive, carcass characteristics and plasma urea concentration. We performed analysis of variance and regression using a response surface model with RSGEG procedure of SAS (2009) taking into account the level of crude protein (CP), and effect of the experiment, year, time of year, type and level food additive added, were determined optimal levels of PC (19.25, 18.1, 17.3 and 16.5%), which was corroborated by a further experiment using 40 hybrid nursery pigs initial weight 11.5 kg for 21 days, in a design completely randomized design with ten replicates per treatment. The meta-analysis indicated that the average daily gain, gain lean meat and lower plasma urea down the PC ( $P \leq 0.05$ ) and improved feed conversion when the PC is reduced ( $P \leq 0.05$ ). In the experiment conducted to corroborate the optimal levels of PC, there were no differences in the variables analyzed, except for lean meat percentage, which improved ( $P \leq 0.05$ ) when used 16.5 and 19.25% CP.

**Keywords:** low-protein diets, meta-analysis, nursery pigs.

### 1.3. INTRODUCCIÓN

La reducción del nivel de proteína en la dieta con la adición de aminoácidos (AA) sintéticos tenía como objetivo inicial la reducción de los costos de alimentación y el aumento de las ganancias de los productores. En la actualidad, los beneficios de esta práctica, aparte de los mencionados, incluyen la reducción del nitrógeno y del olor fétido del excremento. Por cada unidad porcentual de proteína que se reduce en la dieta, disminuyen aproximadamente en 8% las pérdidas de nitrógeno en las heces, 19% el amonio en el aire, y 17.5% la fetidez (Lewis, 2001). Sin embargo, dietas con baja proteína pueden conducir a una reducción en el crecimiento pos-destete e iniciación (Nyachoti *et al.*, 2006; Wellock *et al.*, 2006, 2008), aunque tales efectos en el rendimiento pueden ser de corta duración. Una reducción en el contenido de PC de la dieta de lechones al destete disminuye el riesgo de diarrea postdestete ya que se reduce la disponibilidad de proteína para los posibles agentes patógenos entéricos, incluyendo *Escherichia coli* enterotoxigénica (Wellock *et al.*, 2008), y disminuye la producción de factores tales como las aminas biogénicas, que surgen a partir de la fermentación de las proteínas (Aumaitre *et al.*, 1995).

Por su parte Trujillo *et al.* (2007) reportan que en lechones en iniciación, variando el porcentaje de PC y la concentración de energía metabolizable (EM; Mcal kg<sup>-1</sup>), es posible mantener un comportamiento productivo aceptable si se reduce la PC más de 6 unidades porcentuales (de 20.6% a 14.38%) y alrededor de 100 Kcal kg<sup>-1</sup> EM en dietas adicionadas con lisina, metionina, treonina y triptófano a base de sorgo-pasta de soya comparadas con dietas con cantidades convencionales de nutrimentos; similares resultados obtuvieron Brudevold y Southern (1994), pero con dietas a base de maíz-pasta de soya con 12% de PC más lisina, metionina, treonina, triptófano, isoleucina, histidina y valina; mientras que Reynoso *et al.* (2004) hallaron que lechones de 3 semanas de edad alimentados con dieta trigo-pasta de soya con 18.4% PC presentaron un incremento de 19.9% en el consumo de alimento (CDA) en comparación con 20.3% PC, y tuvieron la mejor conversión alimenticia (CA) al compararlos con los que consumieron la dieta testigo.

El Meta-análisis es un procedimiento para combinar datos procedentes de estudios independientes, para el análisis cuantitativo, y es particularmente útil cuando hay un resultado reportado inconsistente o en conflicto y cuando el tamaño de muestra es pequeña, lo que limita el poder estadístico de los estudios individuales para detectar las diferencias (DeCoster, 2009). El presente estudio se llevó a cabo para determinar cuantitativamente, por medio de un meta-análisis, la respuesta productiva, las características de la canal, y la concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación, alimentados con dietas con baja proteína; y obtener una ecuación de regresión para determinar el nivel óptimo de PC en la dieta para la mejor respuesta de las variables mencionadas.

## **1.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.4.1. Base de datos y diseño experimental**

El conjunto de datos utilizados se basa en una línea de investigación sobre la alimentación de cerdos con dietas bajas en proteína en la etapa de iniciación. Los datos se encuentran publicados en revistas científicas, en manuscritos en proceso de arbitraje para su publicación, y en material todavía no publicado (tesis de maestría y doctorado) pero en proceso de elaboración de manuscritos. Se recopilaron de estudios realizados de julio de 2005 a julio de 2011. Los estudios analizados tenían en común evaluar diferentes niveles de proteína en dietas para cerdos en iniciación alimentados con dietas a base de sorgo-pasta de soya. Los criterios que se utilizaron en éste meta-análisis para el uso de los datos fueron, en primer lugar, que cada experimento debió tener más de una repetición de cada tratamiento, independientemente del tamaño de la muestra. En segundo lugar tenía que haber una clara comparación de los resultados de los cerdos alimentados con una dieta con nivel de proteína estándar contra el desempeño de los cerdos alimentados con dietas que contenían nivel de proteína diferente al estándar. Y en tercer lugar el experimento tuvo que ser concurrente, es decir, que los tratamientos de cada experimento se aplicaran al mismo tiempo.

Fue importante que los experimentos contaran con el conjunto de datos completos (originales), para asegurar que las omisiones no introdujeran sesgo y

construir una base de datos suficientemente grande que fuese insensible a las variaciones en los valores de los distintos experimentos o de la adición o eliminación de los experimentos individuales. Se contó con datos de 7 experimentos con un total de 240 cerdos, siendo cada cerdo la unidad experimental (Cuadro 2). En cada estudio los cerdos se alojaron en corral individual de 1.5×1.2 m, equipado con comedero tipo tolva de una boca y bebedero de chupón. En todos los experimentos el agua y el alimento se ofrecieron a libre acceso. La limpieza de corrales e inspección del estado de salud de los cerdos se realizó diariamente. El cambio de peso de los cerdos para calcular la ganancia diaria de peso (GDP), así como el consumo diario de alimento (CDA), y la conversión alimenticia (CA), se obtuvieron semanalmente. El día final de cada experimento se tomaron muestras de sangre mediante punción en la vena cava utilizando un tubo vacutainer con heparina; las muestras se colocaron en hielo hasta centrifugarse durante 20 min a 2,500 rpm (1,286 xg) para separar el plasma y las células sanguíneas. El plasma se colocó en tubos de polipropileno y se congeló a -20 °C hasta realizar las determinaciones de urea en plasma por espectrofotometría de absorción atómica (Chaney y Marbach, 1962).

El día primero y último de la etapa de cada experimento se midió grasa dorsal (GD) y el área del músculo *longissimus* (AML) con un ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 (Medison, Inc., Cypress, California, USA). Con estos datos y los de peso inicial y final, se calculó la ganancia de carne magra (GCM) y el porcentaje de carne magra (%CM) en la canal, con la ecuación del NPPC (1991).

#### **1.4.2. Análisis estadístico**

Para investigar el efecto de los factores sobre las variables de respuesta se utilizó el siguiente modelo de efectos:  $Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + \alpha_k + \epsilon_{ijk}$ ; donde  $\mu$  = media general;  $T_i$  = efecto del *i*-ésimo experimento;  $\beta_j$  = efecto del *j*-ésima época del año;  $\alpha_k$  = efecto del *k*-ésimo aditivo;  $\epsilon_{ijk}$  = error experimental asociado con cada medición. Del análisis de varianza se obtuvieron los promedios del comportamiento productivo dentro de los cuales se consideró: CDA, GDP, CA, GCM y PF; y en las características de la canal se contempló: GD, %CM, AML; y la concentración de urea en plasma.



Las dietas (Cuadro 4) se formularon con base en sorgo-pasta de soya adicionadas con L- Lisina-HCl, L-treonina, DL-metionina y L-triptófano sintéticos, agregados hasta alcanzar los requerimientos nutricionales para las etapa de iniciación (NRC, 1998). Los cerdos recibieron las mismas condiciones de alojamiento y manejo que en los experimentos utilizados en el meta-análisis, y las variables analizadas (GDP, CDA, CA, Peso Final, GCM, GD, AML, %CM y Urea en plasma) se midieron de igual manera.

## **1.5. RESULTADOS**

### **1.5.1. Meta-análisis**

Los resultados del meta-análisis se presentan en el Cuadro 3. Para las variables productivas GDP y GCM se observó una disminución de la respuesta al bajar el nivel de proteína en la dieta de 20.9% a 14.5% ( $P \leq 0.05$ ), pero utilizando 16 y 20.5% se presentó el mayor promedio para GDP (613 g d<sup>-1</sup> y 606 g d<sup>-1</sup>, respectivamente); la GCM no fue diferente con 20.9 y 16.5 % de PC, pero al reducir a 14.5 % disminuyó en 28 g d<sup>-1</sup>. El CDA y PF no fueron afectados por el contenido de PC en la dieta ( $P > 0.05$ ). La CA se mejoró ( $P \leq 0.05$ ) cuando se utilizaron niveles bajos de PC.

Para las características de la canal (Cuadro 3) GD, AML, y %CM, no se observaron diferencias entre los niveles de proteína analizados ( $P > 0.05$ ). Para el contenido de urea en plasma los resultados son variables aunque hay una disminución ( $P \leq 0.05$ ) en la concentración de urea cuando se disminuye en 6.4 unidades porcentuales la PC en la dieta. El contenido de 20.9% y 20.5% PC (considerados niveles estándar de proteína) causaron las mayores concentraciones de urea respecto a las dietas con baja proteína.

### **1.5.2. Ecuaciones de predicción**

Los valores de R<sup>2</sup> (Cuadro 3) de las ecuaciones de predicción obtenidas mediante el modelo de regresión cuadrática, indican si la ecuación es la idónea para predecir la respuesta productiva, característica de la canal y concentración de urea en

plasma. Las variables que presentaron los mayores valores de  $R^2$  y el nivel óptimo de PC para la máxima respuesta fueron GDP, CA, GD, y UREA; con 19.25, 17.30, 18.10, y 12.10% de PC, respectivamente (Figuras 1 y 2).

### **1.5.3. Respuesta a los niveles óptimos de PC obtenidos del meta-análisis**

No se observaron diferencias para las variables productivas, características de la canal, y concentración de urea en plasma (Cuadros 6 y 7), por efecto de los niveles óptimos de PC analizados en el experimento de corroboración. Sólo el %CM (Cuadro 7) fue mejor ( $P \leq 0.05$ ) con 16.5 y 19.25% PC con respecto a los otros dos niveles analizados.

## **1.6. DISCUSIÓN**

### **1.6.1. Comportamiento productivo**

Los resultados del meta-análisis mostraron que al reducir la PC en 6 unidades porcentuales (de 20.5 a 14.5%) en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con aminoácidos sintéticos, los cerdos ganaron menos peso al compararlos con los cerdos que recibieron el nivel estándar de proteína cruda (20.5%). Una respuesta similar ya había sido reportada (Hansen y Lewis, 1993; Reyna, 2006) al disminuir también 6 unidades porcentuales la PC en la dieta para cerdos en iniciación, lo que también provocó una menor GDP. Esto no coincide con los resultados que se obtuvieron con la línea de investigación que generó los datos originales del meta-análisis (Trujillo *et al.*, 2007; Salinas 2011; Figueroa *et al.*, 2012; Martínez-Aispuro *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012), quienes habían encontrado que la respuesta productiva no se afecta adversamente y que es posible obtener un rendimiento aceptable cuando se reduce la PC en 6 unidades porcentuales en dietas con base en sorgo-pasta de soya. Para las variables CDA y PF no hubo diferencias cuando disminuyó la proteína, lo que coincide con los resultados obtenidos por Trujillo *et al.* (2007), Salinas (2011), Figueroa *et al.* (2012), Martínez-Aispuro *et al.* (2012), y Reyes *et al.* (2012); mientras que la CA mejoró y la GCM fue menor cuando se disminuyó la PC en seis unidades porcentuales, lo que coincide con lo encontrado por Reynoso *et al.* (2004), quienes observaron que la

disminución de PC en la dieta mejora al menos una variable productiva, sin embargo, se debe tener en cuenta que estos investigadores utilizaron diferentes ingredientes como fuente de energía y proteína (trigo-pasta de soya, Reynoso *et al.*, 2004).

### **1.6.2. Características de la canal**

La disminución de la PC en la dieta no afectó negativamente las características de la canal, lo que coincide con los resultados obtenidos por otros investigadores (Brudevold y Southern, 1994; Le Bellego *et al.*, 2001; Figueroa *et al.*, 2002, 2003, 2004, 2012; Gómez *et al.*, 2002b; Trujillo *et al.*, 2007; Salinas, 2011; Martínez-Aispuro *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012). Sin embargo, hay una tendencia a aumentar el espesor de GD, lo que podría deberse a un desequilibrio entre AA al agregar lisina a dietas bajas en proteína (Schoenherr, 1992; Cromwell *et al.*, 1996; Gómez *et al.*, 2002b; Kerr *et al.*, 2003); la capacidad genética de los cerdos para la retención de tejido magro; y el sexo de los cerdos usados en los experimentos (Hansen y Lewis, 1993; Hahn *et al.*, 1995).

### **1.6.3. Concentración de urea en plasma**

La concentración de urea en plasma disminuyó cuando se redujo el nivel de PC en la dieta, observándose una reducción considerable cuando bajó de 20.9% a 18.5% PC (23.686 a 10.873 mg dL<sup>-1</sup>), similar a la observada con el cambio de 17.4% a 14.5% PC (16.695 a 5.513 mg dL<sup>-1</sup>); esto coincide con los datos obtenidos por otros investigadores (Figueroa *et al.*, 2002, 2003; Gómez *et al.*, 2002a; Kerr *et al.*, 2003; Nyachoti *et al.*, 2006; Trujillo *et al.*, 2007; Zamora *et al.*, 2010; Salinas, 2011; Martínez-Aispuro *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012). Una menor concentración de urea en plasma se relaciona con la disminución en la producción de calor metabólico asociado con la síntesis y excreción de urea proveniente del exceso de aminoácidos (Kerr *et al.*, 2003), lo que indica una mejor utilización del nitrógeno por los cerdos alimentados con dietas bajas en proteína suplementadas con AA, por lo que hay una reducción en la excreción de nitrógeno y olor; esta disminución puede ir de 8.5% a 12.5% por cada unidad porcentual que se reduzca la proteína de la dieta (Ferket *et al.*, 2002; Zervas y Zijlstra, 2002). Otros investigadores mencionan que representa 30-40% menos nitrógeno en dietas con 3-4% menos proteína cruda (Bridges *et al.*, 1995); y de 30 a 50% menos olor en explotaciones porcinas (Kerr *et al.*, 1995).

#### **1.6.4. Niveles óptimos utilizados**

Los resultados de los niveles óptimos de PC, obtenidos mediante las ecuaciones de predicción, indican que para cerdos en iniciación se puede reducir la proteína en la dieta desde 19.25 hasta 16.5% utilizando sorgo-pasta de soya y adicionando AA sintéticos, sin afectar negativamente las variables productivas, las características de la canal y la concentración de urea en plasma; excepto para %CM, que fue mayor cuando se incluyeron 19.25 y 16.5% PC, en comparación con 17.3 y 18.1% PC. Debido a que la disminución de la PC desde 20.5% (estándar) hasta 16.5% (nivel más bajo utilizado) mantiene las variables productivas, este último valor parece ser el adecuado para cerdos en iniciación, y es consistente con lo observado en otros trabajos realizados y publicados en esta línea de investigación y utilizados en el meta-análisis.

#### **1.7. CONCLUSIONES**

Reducir el contenido de PC en la dieta de cerdos de iniciación hasta 14.5% afecta adversamente algunas variables productivas como GDP, CA y GCM; sin embargo, no se ven afectadas las características de la canal y hay una disminución de la concentración de urea en plasma produciendo una menor excreción de nitrógeno. Los resultados del nivel óptimo de PC (16.5 a 19.25%), sugieren que los cerdos en iniciación se pueden alimentar con dietas bajas en PC (16.5%) con base en sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos sin afectar las variables productivas, ni características de la canal y disminuyendo la concentración de urea en plasma.

#### **1.8. LITERATURA CITADA**

- Aumaitre, A., J. Peiniau, F. Medec. 1995. Digestive adaptation after weaning and nutritional consequence in the piglet. *Pig New Inform.* 16: 73-79.
- Bridges, T. C., L. W. Turner, G. L. Cromwell, and J. L. Pierce. 1995. Modelling the effects of diet formulation on nitrogen and phosphorus excretion in swine waste. *Appl. Eng. Agric.* 11: 731-739.

- Brudevold, A. B., and L. L. Southern. 1994. Low-protein, crystalline amino acid-supplemented, sorghum-soybean meal diets for the 10- to 20-kilogram pig. *J. Anim. Sci.* 72:638-647.
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1964. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry.* 8:130-132.
- Cromwell, G. L., D. Lindemann, G. R. Parker, K. M. Laurent, R. D. Coffey, H. J. Monegue, and J. R. Randolph. 1996. Low protein, amino acid supplemented diets for growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 74 (1):174 (Abstr.).
- Estrada-Godoy, J. 2011. Adición de ractopamina a dietas con baja proteína formuladas con tres niveles de lisina digestible para cerdos en engorda. 60 p. Tesis (M.C.) - Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.
- Ferret, P. R., E. Van Heugten, T. A. T. G. Van Kempen, R. Angel. 2002. Nutritional strategies to reduce environmental emissions from nonruminants. *J. Anim. Sci.* 80: 168-182.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, and R. M. Diedrichsen. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. Anim. Sci.* 81: 1529-1537.
- Figuroa, J. L., R. M. Cervantes, J. M. Cuca, y M. Méndez. 2004. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia.* 38: 383-394.
- Figuroa, J. L., J. Estrada, V. Zamora, J. L. Cordero, M. T. Sánchez-Torre, 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. Agric. Food Research.* 51:33-44.

- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, H. Y. Chen. 2002a. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, H. Y. Chen, and R. M. Diedrichsen. 2002b. Body composition and tissue accretion rates of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 654-662.
- Hahn, J. D., R. R. Biehl, D. H. Baker. 1995. Ideal digestible lysine level for early and late finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73: 773–784.
- Hansen, B. C., 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: mathematical descriptions. *J. Anim. Sci.* 71: 2122–2132.
- Kerr, B. J., F. K. McKeith, R. A. Easter. 1995. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acids-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 73: 433–440.
- Kerr, B. J., L. L. Southern, T. D. Bidner, K. G. Friesen, and R. A. Easter. 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81: 3075-3087.
- Le Bellego, L., J. Van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 1259-1271.
- Lewis, A. J., and L. L. Southern. 2001. Amino acids in swine nutrition. *Swine Nutrition*. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press, New York. pp. 131-143.
- Martínez-Aispuro, M. Dietas con baja proteína adicionadas con ácido linoléico conjugado o aceite de soya acidulado para cerdos en engorda. 2009. 118 p. Tesis (D.C.) - Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.

- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa, V. Z. Zamora, M. T. Sánchez-Torres, M. E. Ortega, J. L. Cordero, A. Ruiz, and S. González. 2012. Effect of fatty acids source on growth performance, carcass characteristics, plasma urea nitrogen concentration, and fatty acid profile in meat of pigs fed standard- or low-protein diets. Spanish J. Agri. Research. 10: 993-1004.
- Meta-Analysis Notes. from <<http://www.stat-help.com/notes.html>>Accessed on: 6 June, 2012.
- National Pork Producers Council. 1991. Procedures to Evaluate Market Hogs. 3<sup>rd</sup> ed. National Pork Producers Council, Des Moines, IA. 19 p.
- National Research Council. Nutrient Requirements of Swine. 1998. 10. Ed. Washington: National Academy.
- Nyachoti, C. M., F. O. Omogbenigun, M. Rademacher, and G. Blank. 2006. Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early-weaned pigs fed low-protein amino acid-supplemented diets. J. Anim. Sci. 84: 125-134.
- Reyes-Vázquez, I. Probiótico Fecinor (*Enterococcus faecium*) adicionado a dietas estándar y con baja proteína para cerdos en engorda. 2009. 103 p. Tesis (M.C.) - Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.
- Reyes, I., J. L. Figueroa, M. A. Cobos, M. T. Sánchez-Torres, V. Zamora, J. L. Cordero. 2012. Probiótico (*Enterococcus faecium*) adicionado a dietas estándar y con baja proteína para cerdos. Archivos de Zootecnia. 61 (236): 589-598.
- Reyna, S. L. Balance de nitrógeno, digestibilidad y comportamiento productivo de cerdos alimentados con dietas formuladas con nuevos híbridos de maíz, y con baja proteína adicionada con proteasas. 2006. 161p. Tesis (D.C) - Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.
- Reynoso, E., M. Cervantes, J. L. Figueroa, and J. M. Cuca. 2004. Productive response of pigs to low-protein diets added synthetic amino acids and yeast culture. Cuban J. Agric. Sci. 38: 269-275.

- Salinas-Sánchez, E. 2011. Respuesta de cerdos en iniciación alimentados con dietas estándar o con baja proteína adicionadas con manano-oligosacáridos o nucleótidos. 2011. 67p. Tesis (M.C) - Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.
- SAS Institute. 2009. SAS/STAT: User's Guide, Second Edition. SAS Institute Inc. Cary NC. USA.
- Shoenherr, W. D. 1992. Ideal protein formulation of diets for growing-finishing pigs housed in a hot environment. *J. Anim. Sci.* 70 (1): 242 (Abstr.).
- Trujillo-Coutiño, J.E. 2005. Determinación del nivel de proteína en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en engorda. 57p. Tesis (M.C) - Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.
- Trujillo, J. E., J. L. Figueroa, M. Martínez, V. Zamora, J. L. Cordero, M. T. Sánchez-Torres, J. M. Cuca, and M. Cervantes. 2007. Plasma urea concentration and growth performance of nursery pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets. *Agrociencia.* 4: 597–607.
- Wellock, I. J., P. D. Fortomaris, J. G. M. Houdijk, and I. Kyriazakis. 2006. The effect of dietary protein supply on the performance and risk of post-weaning enteric disorders in newly weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 327-335.
- Wellock, I. J., P. D. Fortomaris, J. G. M. Houdijk, and I. Kyriazakis. 2008. Effects of dietary protein supply, weaning age and experimental enterotoxigenic, *Escherichia coli* infection in newly weaned pigs. *Health Animal.* 2: 834-842.
- Zervas, S. and R. T. Zijlstra. 2002. Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen excretion patterns and plasma urea in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 3247–3256.
- Zamora, V., J. L. Figueroa, J. L. Cordero, M. Rugerio, L. Reyna, and M. T. Sánchez-Torres. 2010. Addition of glucomannans to low-protein diets based on sorghum-soybean meal for growing and finishing pigs. *Revista Científica – Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia (LUZ).* 20: 274–283.

Cuadro 1.1. Resumen de los estudios utilizados para evaluar el comportamiento productivo, características de la canal y la concentración de urea en plasma en cerdos en iniciación.

Estudio	No. de cerdos	Raza	Sexo	PV inicial	PV final	Periodo días
Trujillo Coutiño, (2005)	50	Landrace <sup>x</sup> Yorkshire <sup>x</sup> Duroc	Hembras	10.22	18.50	35
Reyna Santamaría, (2006)	32	Yorkshire <sup>x</sup> Duroc <sup>x</sup> Pietrain	Machos castrados	12.10	24.78	21
Martinez Aispuro, (2009)	24	Yorkshire <sup>x</sup> Duroc <sup>x</sup> Pietrain	Machos castrados	12.35	26.84	28
Reyes Vázquez, (2010)	36	Landrace <sup>x</sup> Yorkshire <sup>x</sup> Duroc	Machos castrados	11.10	25.70	21
Estrada Godoy, (2011)	36	Yorkshire <sup>x</sup> Duroc <sup>x</sup> Pietrain	Machos castrados	10.60	25.60	21
Salinas Sánchez, (2011)	30	Yorkshire <sup>x</sup> Duroc <sup>x</sup> Pietrain	Machos castrados	18.12	32.50	21
Salinas Sánchez, (2011)	32	Yorkshire <sup>x</sup> Duroc <sup>x</sup> Pietrain	Machos castrados	13.52	26.20	21

Las dietas utilizadas en todos los experimentos fueron a base de sorgo-pasta de soya.

En todos los experimentos las variables respuesta fueron: GDP, CDA, CA, PF, GCM, GDF, AMLF, %CMF y Urea en plasma.

Cuadro 1.2. Composición de las dietas experimentales para cerdos en iniciación

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	NRC*
Ingrediente, %					
Sorgo	63.020	66.142	68.314	70.486	
Soya	30.628	27.269	24.933	22.597	
Aceite crudo de soya	2.592	2.630	2.656	2.682	
Ortofosfatos	1.530	1.550	1.565	1.579	
CaCO <sub>3</sub>	1.071	1.075	1.078	1.081	
Sal común	0.350	0.350	0.350	0.350	
Vitaminas **	0.150	0.150	0.150	0.150	
Antibiótico (oxitetraciclina)	0.100	0.100	0.100	0.100	
Minerales ***	0.100	0.100	0.100	0.100	
Tripto + Plus****	0.353	0.459	0.534	0.608	
DL-Metionina	0.064	0.091	0.109	0.128	
L-Treonina	0.038	0.080	0.109	0.138	
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	
<b>Análisis calculado</b>					
EM, Mcal Kg <sup>-1</sup>	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda, %	19.25	18.1	17.3	16.5	20.9
Ca, %	0.80	0.80	0.80	0.8	0.8
Fósforo total, %	0.65	0.642	0.636	0.63	0.662
Fósforo disponible, %	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Lisina, %	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Treonina, %	0.63	0.63	0.63	0.63	0.65
Triptófano, %	0.247	0.249	0.251	0.253	0.244
Metionina + cistina, %	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Arginina, %	1.132	1.038	0.973	0.907	1.266
Histidina, %	0.438	0.409	0.389	0.369	0.479
Isoleucina, %	0.80	0.749	0.714	0.679	0.872
Leucina, %	1.65	1.589	1.546	1.503	1.738
Valina, %	0.847	0.799	0.766	0.733	0.915
Fenilalanina + tirosina	1.549	1.461	1.400	1.340	1.673
<b>Análisis determinado</b>					
Proteína cruda, %	25.62	24.17	22.83	21.79	
Calcio, %	0.95	1.23	1.06	1.37	
Fósforo total, %	0.74	0.74	0.69	0.88	

\*Sugerencia de nutrimentos para cerdos en la etapa de iniciación (10.20 Kg de peso vivo) por el NRC (1988).

\*\*Cada Kg de alimento aportó: Vit. A, 15,000 UI; Vit. D<sub>3</sub>, 2,500 UI; Vit. E, 37.5 UI; Vit. K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; ácido fólico, 1.25 mg; ácido pantoténico, 20 mg; colina, 563 mg;

\*\*\*Aportó por cada 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.

\*\*\*\*Tripto-Plus contiene: proteína cruda, 95%; lisina, 55.3%; treonina, 0.15%; triptófano, 15%; valina, 0.5%; metionina+cistina, 1.75%.

Cuadro 1.3. Meta-análisis del efecto de nivel de proteína cruda incluida en la dieta sobre el comportamiento productivo de cerdos en iniciación

PC %	GDP g d <sup>-1</sup>	CDA g d <sup>-1</sup>	CA	PF Kg	GCM g d <sup>-1</sup>
14.5	552 <sup>b</sup>	1046	1.9116 <sup>b</sup>	25.9022	214 <sup>b</sup>
16.0	613 <sup>a</sup>	1101	1.8593 <sup>b</sup>	26.1271	235 <sup>ab</sup>
16.5	590 <sup>ab</sup>	1073	1.8296 <sup>b</sup>	26.1591	243 <sup>a</sup>
17.4	591 <sup>ab</sup>	1048	1.7983 <sup>b</sup>	25.3193	223 <sup>ab</sup>
18.5	583 <sup>ab</sup>	1094	1.8298 <sup>b</sup>	26.1465	226 <sup>ab</sup>
20.5	606 <sup>a</sup>	1074	1.8415 <sup>b</sup>	26.1230	232 <sup>ab</sup>
20.9	598 <sup>ab</sup>	1085	2.1269 <sup>a</sup>	25.9947	242 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup>Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ( $P \leq 0.005$ ).  
 PC=proteína cruda GDP=ganancia diaria de peso; CAL=consumo diario de alimento; CA=conversión alimenticia; GCM=ganancia diaria de carne magra.

Cuadro 1.4. Meta-análisis del efecto de nivel de proteína incluida en la dieta sobre las características de la canal y concentración de urea en plasma en cerdos en iniciación.

PC %	GDF cm	AMLF cm <sup>2</sup>	%CMF	UREA 100mL <sup>-1</sup>
14.5	0.3221	9.4186	44.7903	5.5133 <sup>d</sup>
16	0.3205	10.102	44.9320	10.5266 <sup>c</sup>
16.5	0.2838	10.456	44.5715	5.3611 <sup>d</sup>
17.4	0.3319	9.9904	46.1071	16.6955 <sup>b</sup>
18.5	0.2726	9.7809	44.9227	10.8731 <sup>c</sup>
20.5	0.3099	9.7876	44.7312	22.5921 <sup>a</sup>
20.9	0.2957	10.096	44.5992	23.6867 <sup>a</sup>

<sup>a,b</sup>Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas (P≤0.005).  
 GDF=grasa dorsal final; AML=área de músculo *longissimus*; %CM=porcentaje de carne magra;  
 UREA=concentración de urea en plasma.

Cuadro 1.5. Nivel de proteína para obtener la mayor respuesta en el comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma en cerdos en iniciación.

VARIABLE	Nivel PC	ECUACIÓN
GDP	19.25	$-0.016 + 0.064(PC) - 0.0016(PC^2)$ $R^2=0.593$
CA	17.30	$6.73 - 0.56(PC)+0.016(PC^2)$ $R^2=0.593$
UREA	12.10	$40.69 - 5.96(PC) + 0.246(PC^2)$ $R^2=0.816$
%CM	17.63	$26.62 + 2.11(PC) - 0.059(PC^2)$ $R^2=0.271$
AML	18.19	$-2.18 + 1.35(PC) - 0.037(PC^2)$ $R^2=0.276$
GCM	20.41	$0.571+0.0175(PC) - 0.0004(PC^2)$ $R^2=0.259$
GDF	18.10	$0.885-0.064(PC) + 0.0017(PC^2)$ $R^2=0.994$

NPC=nivel de proteína cruda GDP=ganancia diaria de peso; CA=conversión alimenticia; GCM=ganancia diaria de carne magra; GDF=grasa dorsal final; AML=área de músculo *longissimus*; %CM=porcentaje de carne magra; UREA=concentración de urea en plasma.

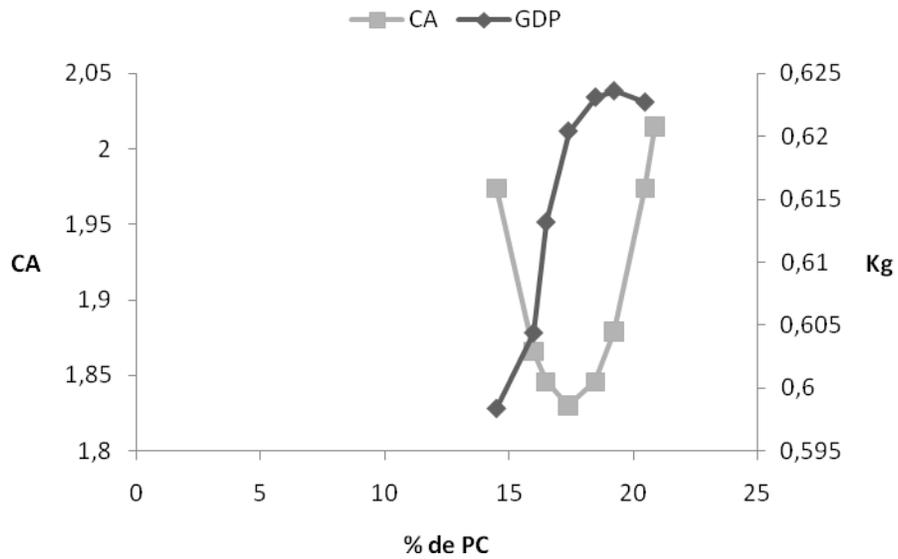


Figura 1.1. Curva de predicción para la máxima respuesta de GDP ( $R^2=0.593$  NPC=19.25%) y CA ( $R^2=0.593$  NPC= 17.3%) para cerdos en iniciación con dietas bajas en proteína

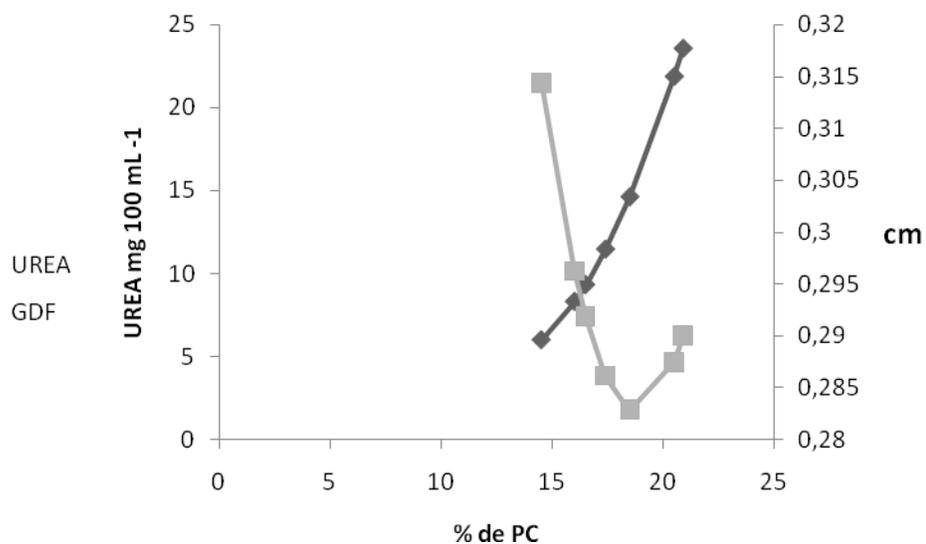


Figura 1.2. Curva de predicción para la menor respuesta de UREA ( $R^2=0.816$  NPC=12.10) y GDF ( $R^2=0.0.994$  NPC= 18.10%) para cerdos en iniciación con dietas bajas en proteína

Cuadro 1.6. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre el comportamiento productivo en cerdos en iniciación

PC %	GDP g d <sup>-1</sup>	CDA g d <sup>-1</sup>	CA	PF Kg	GCM g d <sup>-1</sup>
16.5	555	1087	1.965	24.0	216
17.30	592	1109	1.884	24.87	214
18.10	596	1123	1.906	25.14	219
19.25	542	1056	1.956	23.09	208

PC=proteína cruda; GDP=ganancia diaria de peso; CAL=consumo diario de alimento; CA=conversión alimenticia; GCM=ganancia diaria de carne magra.

Cuadro 1.7. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre las características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación

PC	GDF mm	AML cm <sup>2</sup>	%CMF	UREA
16.5	2.900	11.214	48.165 <sup>a</sup>	20.82
17.3	2.800	10.057	46.038 <sup>b</sup>	24.74
18.1	2.900	10.808	46.94 <sup>b</sup>	21.06
19.25	2.727	10.923	48.620 <sup>a</sup>	26.13

<sup>a,b</sup>Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ( $P \leq 0.005$ ).  
 GDF=grasa dorsal final; AML=área de músculo *longissimus*; %CM=porcentaje de carne magra;  
 UREA=concentración de urea en plasma.

**CAPITULO II.**  
**META-ANÁLISIS DEL EFECTO DE DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS**  
**EN CRECIMIENTO**

# META-ANÁLISIS DEL EFECTO DE DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

## 2.1. RESUMEN

Se realizó un meta-análisis con datos originales de seis experimentos con 192 cerdos híbridos en crecimiento alojados individualmente, alimentados con dietas con baja proteína. Se evaluó el comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma. Se realizó análisis de varianza y de regresión utilizando un modelo de superficie de respuesta con el procedimiento RSREG de SAS (2009) tomando en cuenta el nivel de proteína cruda (PC), y efecto del experimento, año, época del año, tipo y nivel del aditivo alimenticio agregado; se determinaron los niveles óptimos de PC (18.99, 15.11, 13.66 y 12.55%), los cuales se corroboraron con un experimento adicional utilizando 40 cerdos híbridos en crecimiento con 24.4 kg de peso inicial durante 28 días, en un diseño completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento. El meta-análisis indicó que la ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, peso final, porcentaje de carne magra, área del músculo *longissimus* y urea en plasma disminuyen al bajar la PC ( $P \leq 0.05$ ); el grosor de la grasa dorsal aumenta cuando disminuye la PC ( $P \leq 0.05$ ); y el consumo de alimento y ganancia de carne magra no presentaron diferencias ( $P > 0.05$ ) al disminuir PC. En el experimento realizado para corroborar los niveles óptimos de PC, no hubo diferencias en las variables consumo de alimento y conversión alimenticia ( $P > 0.05$ ), pero sí para ganancia diaria de peso, peso final y ganancia de carne magra ( $P \leq 0.05$ ) que se vieron disminuidas al bajar la PC de la dieta. Para las características de la canal (GD, AML y PCM) no hubo diferencias ( $P > 0.05$ ) cuando se redujo la proteína de 18.99 a 12.55% de PC.

**Palabras clave:** dietas bajas en proteína, meta-análisis, cerdos en crecimiento.

# META-ANALYSIS OF THE EFFECT OF LOW PROTEIN DIETS FOR GROWING PIGS

## 2.2. ABSTRACT

A meta-analysis was performed with original data from six experiments involving 192 growing hybrid pigs individually penned, fed low-protein diets. It was evaluated growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration. An analysis of variance and a regression using a response surface model with RSREG of SAS (2009) were performed with crude protein level and the effect of experiment, year, season of year, type and level of feed additive used. The optimum levels of crude protein were determined for variables with the higher  $R^2$  (18.99, 15.11, 13.66 and 12.55%), that were corroborated with an additional experiment using 40 hybrid pigs during growing phase with 24.4 kg of initial body weight during 28 d, in a completely randomized design with ten replicates per treatment. The meta-analysis showed that average daily gain, feed: gain ratio, final weight, lean meat percentage, *longissimus* muscle area and plasma urea nitrogen concentration were reduced when crude protein was lowered ( $P \leq 0.05$ ); backfat thickness increased when crude protein was reduced ( $P \leq 0.05$ ) and feed intake and fat free lean gain were not affected ( $P > 0.05$ ) by crude protein level. In the experiment conducted to corroborate the optimum levels of crude protein, there was no difference for feed intake and feed: gain ratio ( $P > 0.05$ ), but average daily gain, final weight and fat free lean gain were reduced when pigs were fed low-protein diet. Carcass characteristics (backfat thickness, longissimus muscle area and lean meat percentage) were not affected ( $P > 0.05$ ) when crude protein was reduced from 18.99 to 12.55%.

**Keywords:** low-protein diets, meta-analysis, growing pigs.

## **2.3. INTRODUCCIÓN**

Uno de los objetivos de la industria porcina es producir cerdos magros sin afectar la calidad de la carne, al menor costo posible y con prácticas que den valor agregado al producto. También se busca reducir los costos de alimentación, ya que en una explotación porcina son casi siempre mayores del 70%. Por lo que es importante buscar alternativas que permitan optimizar los recursos, como la utilización de dietas bajas en proteína cruda (PC) suplementadas con aminoácidos (AA) sintéticos, ya que permite reducir el contenido de PC, lo que repercute en un beneficio económico para el productor.

Cuando los cerdos en crecimiento son alimentados con dietas bajas de PC suplementadas con AA sintéticos con base en sorgo-pasta de soya, no se afecta negativamente en el comportamiento productivo (Myer y Gorbet, 2002; Figueroa *et al.*, 2012; Martínez *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012); sin embargo, el uso de este tipo de dietas tiene efectos negativos sobre las características de la canal debido a una menor ganancia de carne magra y una mayor acumulación de tejido adiposo (Noblet *et al.*, 1994; Kerr *et al.*, 1995; Gómez *et al.*, 2002; Figueroa *et al.*, 2002), por una mayor cantidad de energía neta disponible que se destina a la síntesis de lípidos (Le Bellego *et al.*, 2001; Figueroa *et al.*, 2003). Este aspecto es negativo debido a que el consumidor busca productos cárnicos con una mayor cantidad de tejido magro y menor grasa, pero con mejor marmoleo. Por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar mediante meta-análisis, el efecto de dietas bajas en proteína basadas en sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento sobre la respuesta productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma; y determinar, mediante ecuaciones de predicción, el nivel óptimo de PC en la dieta para la mejor respuesta de las variables mencionadas.

## **2.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.4.1. Base de datos y diseño experimental**

El conjunto de datos utilizados se basa en una línea de investigación sobre la alimentación de cerdos con dietas bajas en proteína en la etapa de crecimiento. Los

datos se encuentran publicados en revistas científicas, en manuscritos en proceso de arbitraje para su publicación, y en material todavía no publicado (tesis de maestría y doctorado) pero en proceso de elaboración de manuscritos. Se recopilaron estudios realizados de julio de 2005 a julio de 2011. Los estudios analizados tenían en común, evaluar diferentes niveles de proteína en dietas para cerdos en etapa de iniciación. Los criterios que se utilizaron en éste meta-análisis para el uso de los datos fueron: en primer lugar, que cada experimento debió tener más de una repetición por tratamiento, independientemente del tamaño de la muestra; en segundo lugar tenía que haber una clara comparación de los resultados de los cerdos alimentados con una dieta con nivel de proteína estándar contra el desempeño de los cerdos alimentados con dietas que contenían nivel de proteína diferente al estándar; y en tercer lugar, el experimento tuvo que ser concurrente, es decir, que los tratamientos de cada experimento se aplicaran al mismo tiempo.

Fue importante que los experimentos contaran con el conjunto de datos completos (originales) para asegurar que las omisiones no introdujeran sesgo y construir una base de datos suficientemente grande que sea insensible a las variaciones en los valores de los distintos experimentos o de la adición o eliminación de los experimentos individuales. Se contó con datos de seis experimentos con un total de 192 cerdos, siendo cada cerdo la unidad experimental (Cuadro 1). En cada estudio los cerdos se alojaron en corral individual de 1.5×1.2 m, equipado con comedero tipo tolva de una boca y bebedero de chupón. En todos los experimentos el agua y el alimento se ofrecieron a libre acceso. La limpieza de corrales e inspección del estado de salud de los cerdos se realizó diariamente. El cambio de peso de los cerdos para calcular GDP, así como el CDA, y la CA, se obtuvieron semanalmente. El día final de cada experimento se tomaron muestras de sangre mediante punción en la vena cava utilizando un tubo *vacutainer* con heparina; las muestras se colocaron en hielo hasta centrifugarse durante 20 min a 2,500 rpm (1,286 xg) para separar el plasma y las células sanguíneas. El plasma se colocó en tubos de polipropileno y se congeló a -20 °C hasta realizar las determinaciones de urea en plasma por espectrofotometría de absorción atómica (Chaney y Marbach, 1962).

El día primero y último de la etapa, se midió grasa dorsal (GD) y el área del músculo *longissimus* (AML) con un ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 (Medison, Inc., Cypress, California, USA). Con estos datos y los de peso inicial y final, se calculó la ganancia de carne magra (GCM) y el porcentaje de carne magra (PCM) en la canal, con la ecuación del NPPC (1991).

#### **2.4.2. Análisis estadístico**

Para investigar el efecto de los factores sobre las variables de respuesta se utilizó el siguiente modelo de efectos:  $Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + \alpha_k + \varepsilon_{ijk}$ ; donde  $\mu$  = media general;  $T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo experimento;  $B_j$  = efecto del  $j$ -ésimo época del año;  $\alpha_k$  = efecto del  $k$ -ésima aditivo;  $\varepsilon_{ijk}$  = error experimental asociado con cada medición. Del análisis de varianza se obtuvieron los promedios del comportamiento productivo dentro de los cuales se consideró: CDA, GDP, CA, GCM y PF; en las características de la canal se contempló: GD, PCM, AML; y la concentración de urea en plasma.

Posteriormente se realizó un análisis de regresión lineal usando un modelo de superficie de respuesta con el comando RSREG de SAS (2009); esta es una técnica de optimización basada en planeamientos factoriales para obtener el nivel de proteína para las diferentes variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma. Las dietas utilizadas en todos los experimentos fueron a base de sorgo-pasta de soya.

#### **2.4.3. Experimento para corroborar el meta-análisis**

Una vez que se analizaron los datos de los experimentos con el meta-análisis, se prosiguió a montar un experimento para corroborar los resultados de las regresiones de donde se obtuvo el nivel de proteína óptimo para cada variable productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma. Los niveles de proteína utilizados en el experimento de corroboración fueron los de las variables que presentaron mayores valores para  $R^2$  en el meta-análisis y correspondieron a los siguientes: GDP ( $R^2$ , 0.704; nivel óptimo de PC, 15.11%), GDF ( $R^2$ , 0.571; nivel óptimo de PC, 13.66%), CA ( $R^2$ , 0.397; nivel óptimo de PC, 12.55%) y UREA ( $R^2$ , 0.705; nivel óptimo 18.99%; Cuadro 2).

El experimento se efectuó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, en el Campus Montecillo. Se utilizaron 20 cerdos machos castrados y 20 hembras (YorkshirexDuroc×Pietrain) en la etapa de crecimiento durante 35 días, con un peso promedio de 25.36 kg; el diseño experimental fue completamente al azar, para evaluar cuatro concentraciones de proteína cruda, con diez repeticiones por tratamiento. El modelo estadístico fue el siguiente:  $Y_{ik} = \mu + A_i + \varepsilon_{ik}$ ; donde:  $Y_{ik}$  = variable de respuesta en la k-ésima repetición del i-ésimo contenido de A;  $\mu$  = media general;  $A_i$  = efecto del i-ésimo contenido de proteína;  $\varepsilon_{ik}$  = error experimental.

Las dietas (Cuadro 3) se formularon con base en sorgo-pasta de soya adicionadas con L- lisina·HCl, L-treonina, DL-metionina y L-triptófano sintéticos, agregados hasta alcanzar los requerimientos nutricionales para las etapa de iniciación (NRC, 1998). Los cerdos recibieron las mismas condiciones de alojamiento y manejo que en los experimentos utilizados en el meta-análisis, y las variables analizadas (GDP, CDA, CA, PF, GCM, GD, AML, PCM y Urea en plasma) se midieron de igual manera.

## **2.5. RESULTADOS**

### **2.5.1. Meta-análisis**

Los resultados del meta-análisis de dietas con baja proteína en la etapa de crecimiento mostraron (Figura 1) que la GDP disminuye la respuesta al bajar el nivel de proteína en la dieta de 16.5 a 11.5% (0.93 kg d<sup>-1</sup> a 0.71 kg d<sup>-1</sup>;  $P \leq 0.0001$ ), pero utilizando 12.5 y 16.5% PC no hubo diferencias ( $P > 0.05$ ) y se presentaron las mejores ganancias de peso (0.97 y 0.93 kg d<sup>-1</sup>, respectivamente). Para CDA no hubo diferencias ( $P > 0.05$ ), mientras que CA fue mejor ( $P \leq 0.05$ ) cuando el nivel de PC aumenta de 11.5 a 16.5% (3.25 a 2.01), pero 14.0, 14.5 y 16 % PC fueron similares ( $P > 0.05$ ). El PF (Figura 3) se observa que utilizar 11.5, 14.0 y 16.5% de PC en la dieta no hay diferencias ( $P > 0.05$ ) entre ellos; 14.5 y 16% son significativamente diferentes ( $P \leq 0.005$ ; 51.47 y 52.84 kg) de 12.5% (48.91kg). Para GCM no hubo efecto ( $P > 0.05$ ), mientras que la GD, al disminuir la PC de 16.5 a 11.5% tuvo un efecto negativo ( $P \leq 0.006$ ), ya que aumentó el grosor (0.59 a 0.67 cm<sup>2</sup>) de la GD (Figura 2). Para PCM (Figura 3) hubo diferencias ( $P \leq 0.05$ ) presentando los menores porcentajes cuando se

incluyó en las dietas 12.5 y 16.6% PC (38.48 y 39.78%, respectivamente), pero fueron similares ( $P>0.05$ ) a los niveles de 11.5, 14, 14.5 y 16% (41.53, 40.03, 41.08 y 40.96%, respectivamente). El área del músculo *Longissimus* fue significativamente diferente ( $P\leq 0.0035$ ) entre 16.6 y 11.5% (18.51 vs. 16.37 cm<sup>2</sup>, respectivamente) pero fueron similares en los tratamientos con 14, 14.5 y 16% PC ( $P> 0.0035$ ; 16.94, 16.73, y 19.94 cm<sup>2</sup>, respectivamente). La concentración de urea en plasma (Figura 4) disminuyó ( $P<0.0001$ ) de 17.1 a 3.63 mg dL<sup>-1</sup> al disminuir la PC de la dieta de 16 a 12.5%.

### **2.5.2. Ecuaciones de predicción**

Los valores de  $R^2$  (Cuadro 2) de las ecuaciones de predicción obtenidas mediante el modelo de regresión cuadrática, indican si la ecuación es la idónea para predecir la respuesta productiva, característica de la canal y concentración de urea en plasma. Las variables que presentaron los mayores valores de  $R^2$  y el nivel óptimo de PC para la máxima respuesta fueron UREA, GDP, GD y CDA, con 18.99, 15.11, 13.66 y 12.55% de PC, respectivamente.

### **2.5.3. Respuesta a los niveles óptimos de PC obtenidos en el meta-análisis**

No se observaron diferencias (Cuadro 4) para las variables productivas CDA y CA ( $P>0.005$ ) cuando disminuyó la PC en la dieta. Los cerdos alimentados con 18 y 15.11% PC tuvieron mejor GDP ( $P\leq 0.028$ ), y presentaron mayor PF ( $P\leq 0.027$ ) e incrementaron la GCM ( $P\leq 0.05$ ) en comparación con dietas de 13.66 y 12.55% PC. Para las características de la canal, las variables GD, AML y PCM no presentaron diferencias ( $P>0.05$ ) entre tratamientos. La concentración de UREA en plasma disminuyó ( $P\leq 0.05$ ) en 55.7% cuando el nivel de PC en la dieta se redujo de 18.99% a 12.55% (Cuadro 5).

## **2.6. DISCUSIÓN**

### **2.6.1. Comportamiento productivo**

Los resultados del meta-análisis mostraron que al reducir la PC en cinco unidades porcentuales (de 16.5 a 11.5%) en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos, los cerdos ganaron menos peso, al compararlos con los cerdos que

recibieron el nivel estándar de proteína para cerdos de 20 a 50 kg. Esta respuesta sugiere que reducir la proteína de la dieta incrementa el número de AA limitantes (Figuroa *et al.*, 2002). Estos resultados son similares a los de estudios previos llevados a cabo por nuestro equipo de investigación (Martínez-Aispuro *et al.*, 2009; Saldaña *et al.*, 2009; Rivera *et al.*, 2010; Zamora *et al.*, 2010). Lo anterior contrasta con algunas investigaciones que indican que disminuir hasta en cuatro unidades porcentuales la proteína no se afecta la respuesta cuando se utiliza maíz-pasta de soya (Kerr *et al.*, 2003), o sorgo-pasta de soya (Figuroa *et al.*, 2004). Los resultados de estos estudios son similares a los encontrados en esta investigación, ya que al utilizar 16.5% y 12.5% PC los cerdos ganan 0.93 y 0.97 kg d<sup>-1</sup>, respectivamente. No se logra mantener la CA al mismo nivel considerado como adecuado para esta etapa cuando se reduce la PC, lo que coincide con lo que reportan otros autores (Kendall *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2009) quienes encontraron que la reducción de la PC hasta 12.2% disminuye la eficiencia alimenticia. El PF se vio afectado, aunque los resultados son muy variables, lo que puede deberse a: 1) el potencial genético de los cerdos en crecimiento, ya que hubo una gran variación de genotipos de los cerdos utilizados entre los estudios; 2) los ingredientes y aditivos utilizados en las dietas; 3) la variación en el peso inicial de los cerdos; y 4) la variación del periodo de evaluación. Estos resultados difieren con los reportados previamente (Figuroa *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012).

### **2.6.2. Características de la canal**

La disminución de la PC en la dieta afecta negativamente las características de la canal (GD, AML, PCM). Estos resultados son similares a los que reportan otros autores (Figuroa *et al.*, 2012) donde aumentaron la GD y disminuyeron el PCM y el AML cuando se redujeron en dos puntos porcentuales la PC y se adicionó lisina. Esto difiere con los resultados obtenidos por otros investigadores que al disminuir la PC en la dieta no tuvo efecto sobre las características de la canal (Figuroa *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012).

### **2.6.3. Concentración de urea en plasma**

La concentración de urea en plasma disminuyó cuando se redujo el nivel de PC en la dieta, observándose una reducción considerable cuando bajó de 16.5 a 11.5% PC (13.35 a 4.55 mg dL<sup>-1</sup>), similar a lo observado con el cambio de 16.0 a 12.5% PC (17.1 a 3.63 mg dL<sup>-1</sup>), lo que coincide con los datos obtenidos por otros investigadores (Figueroa *et al.*, 2002, 2003; Gómez *et al.*, 2002; Kerr *et al.*, 2003; Nyachoti *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2009; Zamora *et al.*, 2010; Martínez-Aispuro *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012). Una menor concentración de urea en plasma se relaciona con la disminución en la producción de calor metabólico asociado con la síntesis y excreción de urea proveniente del exceso de AA (Kerr *et al.*, 2003), lo que indica una mejor utilización del nitrógeno por los cerdos alimentados con dietas bajas en proteína suplementadas con AA, por lo que hay una reducción en la excreción de nitrógeno y el olor; esta disminución puede ir de 8.5 a 12.5% por cada unidad porcentual que se reduzca la proteína de la dieta (Ferket *et al.*, 2002; Zervas y Zijlstra, 2002). Otros investigadores mencionan que representa 30-40% menos nitrógeno en dietas con 3-4% menos proteína cruda (Panetta *et al.*, 2006; Powers *et al.*, 2007); y de 30 a 50% menos olor en explotaciones porcinas (Gómez *et al.*, 2002; Tartrakoon *et al.*, 2004).

### **2.6.4. Niveles óptimos utilizados**

Los resultados de los niveles óptimos de PC, obtenidos mediante las ecuaciones de predicción y utilizados en el experimento de comprobación, indican que para cerdos en crecimiento se puede reducir la proteína en la dieta de 18.99 hasta 15.11% utilizando sorgo-pasta de soya y adicionando AA sintéticos, sin afectar negativamente las variables productivas. Para las características de la canal, disminuir la PC de 18.99 a 12.55 no tuvo efecto negativo. En cuanto a la concentración de urea en plasma, esta variable disminuyó de 22.71 a 10.06 mg dL<sup>-1</sup> cuando se redujo la PC de la dieta de 18.99 a 12.55%.

## 2.7. CONCLUSIONES

Reducir el contenido de PC en la dieta de cerdos en crecimiento hasta 11.55% afecta adversamente algunas variables productivas como GDP, CA y PF; además se ven afectadas las características de la canal como GD, PCM y AML; aunque hay una disminución de la concentración de urea en plasma debido a una menor excreción de nitrógeno. Los resultados del nivel óptimo de PC (12.55 a 18.99%), sugieren que los cerdos en crecimiento se pueden alimentar con 15.11% PC en dietas con base en pasta de soya adicionada con AA sintéticos sin que se afecten las variables GDP, PF y CA. Para GD, AML y PCM, utilizar 12.55% de PC en la dieta no afecta negativamente estas variables.

## 2.8. LITERATURA CITADA

- Bridges, T. C., L. W. Turner, G. L. Cromwell, and J. L. Pierce. 1995. Modeling the effects of diet formulation on nitrogen and phosphorus excretion in swine waste. *Appl. Eng. Agric.* 11: 731-739.
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach . 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chemistry* 8: 130-132.
- 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.* (E. Suppl. 2) 80: E168-E182.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, and R. M. Diedrichsen. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. Anim. Sci.* 81:1529-1537.

- Figuroa, J. L., M. Cervantes, M. Cuca, and M. Méndez. 2004. Growth performance of growing-finishing pigs fed diets low in protein and energy. *Agrociencia* 38: 383-394.
- 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. Agri. Food Res.* 51: 33-44.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, and H. Y. Chen. 2002. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.
- Kendall, D. C., K. M. Lemenager, B. T. Richert, A. L. Sutton, J. W. Frank, B. A. Belstra, and D. Bundy. 1998. Effects of intact protein diets versus reduced crude protein diets supplemented with synthetic amino acids on pig performance and ammonia levels in swine buildings. *Purdue University Swine Day, West Lafayette, IN, USA.* Pp. 141-146.
- Kerr, B. J., and R. A. Easter. 1995. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 3000-3008.
- Kerr, B. J., L. L. Southern, T. D. Bidner, K. G. Friesen, and R. A. Easter. 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81: 3075-3087.
- Le Bellego, L., J. Van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 1259-1271.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figuroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, and 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.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa, V. Zamora, M. T. Sánchez-Torres, M. E. Ortega, J. L. Cordero, A. Ruiz, and S. González. 2012. Effect of fatty acids source on growth performance, carcass characteristics, plasma urea nitrogen concentration, and fatty acid profile in meat of pigs fed standard- or low-protein diets. Span. J. Agric. Res. 10(4): 993-1004.
- Myer, R., and D. W. Gorbet. 2002. Crystalline amino acid supplementation of grain sorghum-based, low protein diets for growing and finishing swine. J. Anim. Sci. 80(2): 41 (Abstr.).
- Noblet, J., H. Fortune, X. S. Shi, and S. Dubois. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. J. Anim. Sci. 72: 344-354.
- National Pork Producers Council. 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3<sup>rd</sup> ed. National Pork Producers Council. Des Moines, IA. USA. 19 p.
- Nyachoti, C. M., F. O. Omogbenigun, M. Rademacher, and G. Blank. 2006. Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early-weaned pigs fed low-protein, amino acid-supplemented diets. J. Anim. Sci. 84: 125-134.
- Panetta, D. M., W. J. Power, H. Xin, B. J. Kerr, and K. J. Stalder. 2006. Nitrogen excretion and ammonia emission from pigs fed modified diets. J. Environ. Qual. 35: 1297-1308.
- Power, W. J., S. B. Zamzow, and B. J. Kerr. 2007. Reduced crude protein effects on aerial emissions from swine. Appl. Eng. Agric. 23(4): 539-546.
- Reyes, I., J. L. Figueroa, M. A. Cobos, M. T. Sánchez-Torres, V. Zamora, y J. L. Cordero. 2012. Probiótico (*Enterococcus faecium*) adicionado a dietas estándar y con baja proteína para cerdos. Archivos de Zootecnia 61(236): 589-598.

- Rivera, A., J. L. Figueroa, E. Saldaña, V. Zamora, M. T. Sánchez-Torres, and J. L. Cordero. 2010. Finishing pigs with low-protein diets supplemented with mannan-oligosaccharides or nucleotides. *Archivos de Zootecnia* 59:357-368.
- SAS. 2009. SAS/STAT: User's Guide, 2nd Ed. SAS Institute Inc. Cary NC. USA.
- Saldaña, E., J. L. Figueroa, V. Zamora, M. T. Sánchez-Torres, and J. L. Cordero. 2009. Response of growing pigs fed diets based on sorghum-soybean meal with low level of protein and supplemented with mannan-oligosaccharides or nucleotides. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 35: 85-93.
- Tartrakoon, W., K. Wuthijaree, and K. Udomsri. 2004. Reduction of N-excretion in growing-finishing pigs using low protein diets. Rural Poverty Reduction through Res. Dev. Deutscher Tropentag, October 5-7, Berlin.
- Tejada, I. 1992. Análisis de granos y cereales. *In: Control de Calidad y Análisis de Alimentos para Animales. Sistema de Educación Continúa en Producción Animal*, A. C., México.
- Zamora, V., J. L. Figueroa, J. L. Cordero, M. Rugerio, L. Reyna, and M. T. Sánchez-Torres. 2010. Addition of glucomannans to low-protein diets based on sorghum-soybean meal for growing and finishing pigs. *Revista Científica FCV-LUZ* 20: 274-283.
- Zervas, S., and R. T. Zijlstra. 2002. Effects of dietary protein and oathull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 3238-3246.

Cuadro 2.1. Resumen de los estudios utilizados para evaluar el comportamiento productivo, características de la canal y la concentración de urea en plasma en cerdos en crecimiento

Estudio	No. de cerdos	Raza	Sex	PV inicial	PV final	Periodo días	% PC
Reyna Santamaría, (2005)	32	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	29.15	49.59	28	16.5 11.5
Martinez Aispuro, (2005)	24	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	26.84	48.0	28	16.0 14.0 11.5
Reyes Vázquez, (2008)	36	Landrace×Yorkshire×Duroc	Machos castrados	25.75	51.0	28	16.0 14.5
Estrada Godoy, (2011)	36	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	25.57	54.10	28	16.5 14.0
Saldaña Recio,(2006)	32	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	25.83	57.1	28	16.5 12.5
Zamora Zamora, (2006)	32	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	22.18	49.19	28	16 11.5

Las dietas utilizadas en todos los experimentos fueron a base de sorgo-pasta de soya.

En todos los experimentos las variables respuesta fueron: GDP, CDA, CA, PF, GCM, GDF, AMLF, %CMF y Urea en plasma.

Cuadro 2.2. Nivel de proteína para obtener la mayor respuesta en el comportamiento productivo, característica de la canal y concentración de urea en plasma en cerdos en crecimiento

VARIABLE	NPC	ECUACIÓN	
GDP	15.11	$-1.78 + 0.349(PC) - 0.011(PC^2)$	$R^2=0.704$
CDA	13.66	$-12.18 + 2.126(PC) - 0.077(PC^2)$	$R^2=0.285$
CA	12.55	$-4.494 + 1.178(PC) - 0.046(PC^2)$	$R^2=0.397$
PF	14.32	$-1.69 + 7.512(PC) - 0.262(PC^2)$	$R^2=0.342$
UREA	18.99	$-67.9 + 8.912(PC) - 0.2234(PC^2)$	$R^2=0.705$
GD	13.66	$-1.21 + 0.279(PC) - 0.010(PC^2)$	$R^2=0.571$
PCM	12.46	$36.31 + 0.675(PC) - 0.027(PC^2)$	$R^2=0.059$
AML	15.33	$-3.11 + 0.271(PC) - 0.088(PC^2)$	$R^2=0.133$
GCM	14.37	$-0.68 + 0.137(PC) - 0.0004(PC^2)$	$R^2=0.215$

NPC=nivel de proteína cruda GDP=ganancia diaria de peso; CA=conversión alimenticia; GCM=ganancia diaria de carne magra; GDF=grasa dorsal final; AML=área de músculo *longissimus*; PCM=porcentaje de carne magra; UREA=concentración de urea en plasma.

Cuadro 2.3. Composición de las dietas experimentales de cerdos en la etapa de crecimiento

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	NRC*
Ingrediente, %					
Sorgo	66.822	76.364	80.301	83.314	
Soya	27.751	18.367	14.133	10.891	
Aceite crudo de soya	1.814	2.096	2.144	2.179	
Ortofosfatos	0.723	0.765	0.802	0.821	
CaCO <sub>3</sub>	1.244	1.256	1.261	1.265	
Sal común	0.350	0.350	0.350	0.350	
Vitaminas **	0.150	0.150	0.150	0.150	
Minerales ***	0.100	0.100	0.100	0.100	
Bio-Lys (L-Lisina H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )****	0.986	-----	-----	-----	
Tripto + Plus*****	0.056	0.352	0.486	0.589	
DL-Metionina	-----	0.072	0.106	0.132	
L-Treonina	-----	0.115	0.167	0.207	
<b>TOTAL</b>	100	100	100	100	
<b>Análisis calculado</b>					
EM, Mcal Kg <sup>-1</sup>	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda, %	18.990	15.110	13.660	12.550	16.5
Ca	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700
Fósforo total	0.500	0.477	0.466	0.458	0.534
Fósforo disponible	0.253	0.253	0.253	0.253	0.300
Lisina, %	0.830	0.830	0.830	0.830	0.830
Treonina, %	0.560	0.560	0.560	0.560	0.520
Triptófano, %	0.192	0.198	0.201	0.203	0.195
Metionina + cistina, %	0.497	0.497	0.497	0.497	0.470
Arginina, %	1.055	0.795	0.676	0.585	0.913
Histidina, %	0.416	0.336	0.300	0.272	0.372
Isoleucina, %	0.761	0.622	0.559	0.510	0.685
Leucina, %	1.611	1.449	1.371	1.312	1.524
Valina, %	0.811	0.682	0.621	0.575	0.741
Fenilalanina + tirosina	1.483	1.245	1.135	1.050	1.354
<b>Análisis determinado</b>					
Proteína cruda, %	23.9	17.4	14.45	14.5	
Calcio, %	1.21	1.14	1.06	0.88	
Fósforo total, %	0.60	1.08	0.45	0.48	

\*Sugerencia de nutrimentos para cerdos en la etapa de crecimiento (20-50 Kg de peso vivo) por el NRC (1988).

\*\*Cada Kg de alimento aportó: Vit. A, 15,000 UI; Vit. D<sub>3</sub>, 2,500 UI; Vit. E, 37.5 UI; Vit. K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; ácido fólico, 1.25 mg; ácido pantoténico, 20 mg; colina, 563 mg;

\*\*\*Aportó por cada 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.

\*\*\*\*BioLys contiene: proteína cruda, 75%; fósforo disponible, 0.16%; lisina, 50.7%; treonina, 0.4%; triptófano, 0.14%; metionina, 0.2%; arginina, 0.6%; isoleucina, 0.4%; leucina, 0.7%; valina, 0.7%; cistina, 0.1%.

\*\*\*\*\*Tripto-Plus contiene: proteína cruda, 95%; lisina, 55.3%; treonina, 0.15%; triptófano, 15%; valina, 0.5%; metionina+cistina, 1.75%.

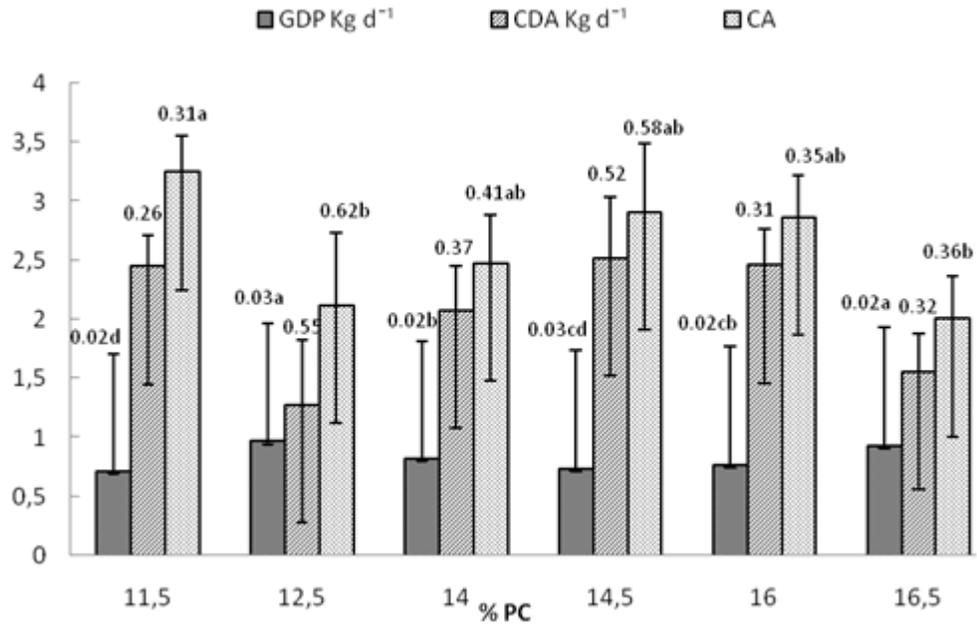


Figura 2.1. Meta-análisis del efecto del nivel de PC incluida en la dieta de cerdos en crecimiento sobre las variables ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA) y conversión alimenticia (CA).

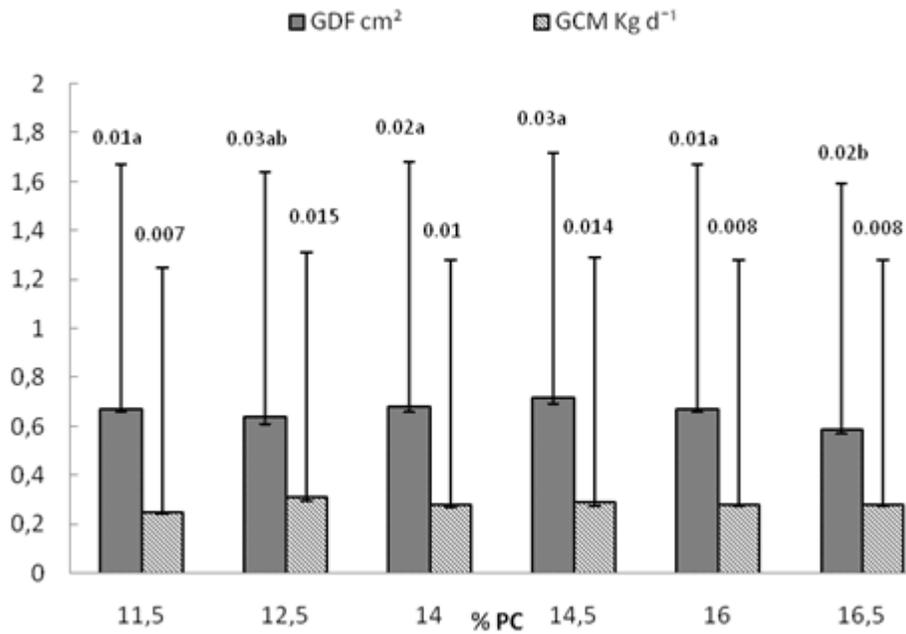


Figura 2.2. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en crecimiento sobre las variables grasa dorsal final (GDF) y ganancia de carne magra (GCM).

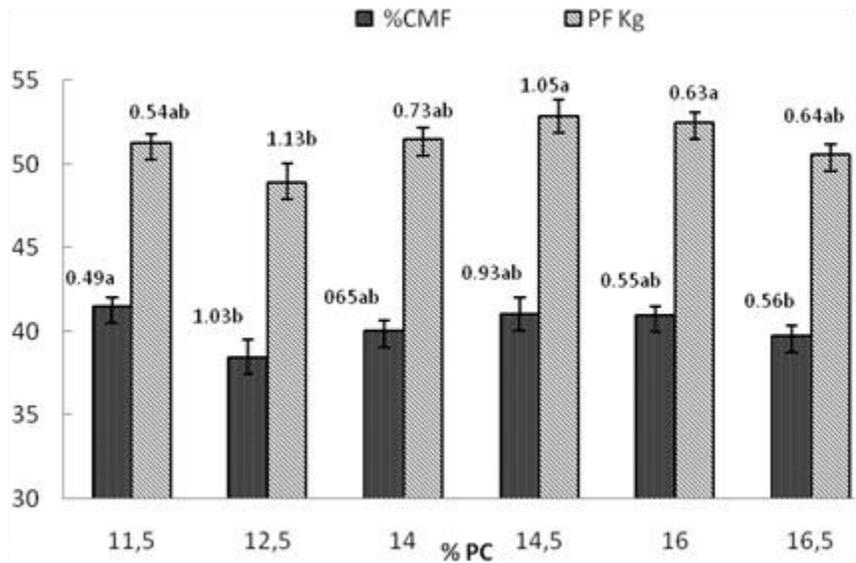


Figura 2.3. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en crecimiento sobre las variables porcentaje de carne magra final (%CMF) y peso final (PF).

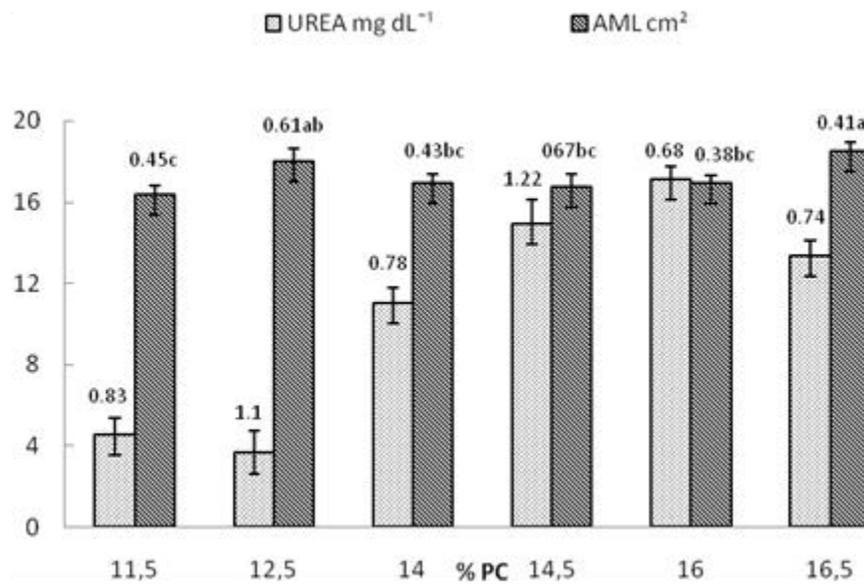


Figura 2.4. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en crecimiento sobre las variables área del músculo *Longissimus* (AML) y concentración de urea en plasma (UREA)

Cuadro 2.4. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre el comportamiento productivo en cerdos en crecimiento

TRAT	PC (%)	PI (kg)	PF (kg)	GDP (g d <sup>-1</sup> )	CDA (g d <sup>-1</sup> )	CA	GCM (g d <sup>-1</sup> )
1	18.99	24.38	55.24 <sup>a</sup>	883 <sup>a</sup>	1988	2.268	329 <sup>a</sup>
2	15.11	23.06	53.37 <sup>ab</sup>	830 <sup>ab</sup>	1952	2.349	310 <sup>ab</sup>
3	13.66	25.09	50.97 <sup>b</sup>	767 <sup>b</sup>	1823	2.402	289 <sup>b</sup>
4	12.55	24.87	51.18 <sup>b</sup>	761 <sup>b</sup>	1857	2.418	296 <sup>b</sup>
EEM			1.04	0.029	0.069	0.059	0.011
Fuente de variación				Valor de P			
PC			0.0277	0.0280	0.370	0.2837	0.1130

PC=proteína cruda; GDP=ganancia diaria de peso; CAL=consumo diario de alimento; CA=conversión alimenticia; PI= peso inicial; PF= peso final; GCM=ganancia diaria de carne magra.

Cuadro 2.5. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre las características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento

TRAT	PC	GDI (mm)	GDF(mm)	AMLi(cm <sup>2</sup> )	AMLf (cm <sup>2</sup> )	CMi (%)	CMf (%)	UREA (mg dL <sup>-1</sup> )
1	18.99	2.795	5.296	11.112 <sup>a</sup>	20.954	47.99 <sup>a</sup>	42.16	22.71 <sup>a</sup>
2	15.11	2.864	5.282	11.270 <sup>a</sup>	20.608	48.15 <sup>a</sup>	42.25	13.45 <sup>b</sup>
3	13.66	2.813	5.198	10.77 <sup>ab</sup>	20.041	47.50 <sup>ab</sup>	42.54	11.29 <sup>bc</sup>
4	12.55	2.83	5.128	9.76 <sup>b</sup>	19.488	46.09 <sup>b</sup>	42.25	10.06 <sup>c</sup>
EEM			0.222		0.687		0.422	0.878
Fuente de variación				Valor de P				
PC			0.954	0.1060	0.606	0.064	0.911	0.0001

<sup>a,b</sup>Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ( $P \leq 0.005$ ).  
 GDI=grasa dorsal inicial; GDF=grasa dorsal final; AMLi=área de músculo *longissimus* inicial; AMLf=área de músculo *longissimus* final; %CMi=porcentaje de carne magra inicial; %CMf=porcentaje de carne magra final; UREA=concentración de urea en plasma.

**CAPITULO III.**  
**META-ANALISIS DEL EFECTO DE DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS**  
**EN LA ETAPA DE FINALIZACIÓN**

## META-ANÁLISIS DEL EFECTO DE DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA PARA CERDOS EN LA ETAPA DE FINALIZACIÓN

### 3.1. RESUMEN

Se realizó un meta-análisis con datos originales de siete experimentos con 222 cerdos híbridos en finalización alojados individualmente, alimentados con dietas con baja proteína. Se evaluó el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma. Se realizó análisis de varianza y de regresión utilizando un modelo de superficie de respuesta con el procedimiento RSREG de SAS (2009) tomando en cuenta el nivel de proteína cruda (PC), y efecto del experimento, año, época del año, tipo y nivel del aditivo alimenticio agregado; se determinaron los niveles óptimos de PC (12.8, 11.3 y 9.5%), los cuales se corroboraron con un experimento adicional utilizando 36 cerdos híbridos en finalización con 50.01 kg de peso inicial durante 42 días, en un diseño completamente al azar con 12 repeticiones por tratamiento. El meta-análisis indicó que la ganancia diaria de peso, consumo diario de alimento, conversión alimenticia, peso final, ganancia de carne magra, porcentaje de carne magra, área del músculo *longissimus* y concentración de urea en plasma disminuyen al bajar la PC ( $P \leq 0.05$ ) hasta 9.5%; el grosor de la grasa dorsal aumenta cuando disminuye la PC ( $P \leq 0.05$ ). En el experimento realizado para corroborar los niveles óptimos de PC, hubo diferencias en las variables ganancia de peso, consumo de alimento, peso final; y ganancia de carne magra ( $P \leq 0.05$ ), que se vieron disminuidas al bajar la PC de la dieta hasta 9.5%, pero no para CA ( $P > 0.05$ ). Para grasa dorsal, área del músculo *longissimus* y porcentaje de carne magra no hubo diferencias ( $P > 0.05$ ) cuando se reduce la proteína de 12.8 a 9.5%. La concentración de urea en plasma se redujo ( $P \leq 0.05$ ) al disminuir la PC de la dieta. Lo anterior indica que reducir la proteína de la dieta hasta 9.5% afecta negativamente las variables analizadas.

**Palabras clave:** dietas bajas en proteína, meta-análisis, cerdos en finalización.

## META-ANALYSIS OF THE EFFECT OF LOW PROTEIN DIETS FOR FINISHING BARROWS

### 3.2. ABSTRACT

A meta-analysis was carried out using original data from seven experiments involving 222 hybrid finishing pigs, individually housed, fed low-protein diets, were growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration were evaluated. The analysis of variance and regression using a response surface model with RSREG procedure of SAS (2009) were performed, taking into account the level of crude protein (CP), and the effect of the experiment, year, time of year, type and level food additive supplemented. Optimum levels of CP were determined (12.8, 11.3 and 9.5%), which were corroborated by an additional experiment using 36 hybrid finishing pigs with 50.01 kg of initial weight during 42 days in a completely random design with 12 replicates per treatment. The meta-analysis indicated that the average daily gain, daily feed intake, feed conversion, final weight, fat free lean gain, lean meat percentage, *longissimus* muscle area and plasma urea nitrogen concentration decreased when CP ( $P \leq 0.05$ ) was reduced; backfat increased by lowering CP ( $P \leq 0.05$ ). In the experiment conducted to corroborate the optimal levels of CP, average daily gain, average daily feed intake, final body weight, and fat free lean gain and plasma urea nitrogen concentration were reduced ( $P \leq 0.05$ ) when dietary CP was lowered. For backfat thickness, *longissimus* muscle area and lean meat percentage there was no effect of CP level ( $P > 0.05$ ) when CP was reduced from 12.8 to 9.5%. This indicates that reducing dietary protein to 9.5% adversely affects the analyzed variables.

**Keywords:** low-protein diets, meta-analysis, finishing barrows.

### **3.3. INTRODUCCIÓN**

La reducción de la proteína cruda (PC) en la dieta (sorgo o maíz-pasta de soya), asociada con una adecuada adición de aminoácidos (AA) sintéticos, no influye negativamente en la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia de los cerdos y favorece a la reducción en la excreción de nitrógeno fecal y urinario (Kerr *et al.*, 2003; Shriver *et al.*, 2003). La adecuada adición de AA sintéticos en dietas sorgo-pasta de soya, formuladas con un menor contenido de proteína que el recomendado por el NRC (1998), no influye negativamente en el comportamiento productivo de los cerdos (Figuroa *et al.*, 2003). El uso de dietas bajas en proteína adicionada con AA sintéticos tienen efectos negativos en las características de la canal porque hay una menor ganancia de carne magra y una mayor acumulación de tejido adiposo (Gómez *et al.*, 2002; Figuroa *et al.*, 2002). Sin embargo, cerdos en finalización alimentados con dietas bajas en proteína y baja concentración de energía no aumentan el grosor de la grasa dorsal e incluso incrementan el AML, pero la respuesta productiva no es la óptima (Figuroa *et al.*, 2004). Además, al bajar el contenido de proteína en la dieta adicionando AA se reduce la excreción de nitrógeno manteniendo el comportamiento productivo (Le Bellego *et al.*, 2001); esta práctica es una alternativa de bajo costo para controlar olores y la emisión de amoníaco en la producción porcina intensiva (Hayes *et al.*, 2004). El objetivo de esta investigación fue evaluar mediante meta-análisis, el efecto de dietas bajas en proteína basadas en sorgo-pasta de soya para cerdos en finalización sobre la respuesta productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma, y determinar, mediante ecuaciones de predicción, el nivel óptimo de PC en la dieta para la mejor respuesta de las variables mencionadas.

### **3.4. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.4.1. Base de datos y diseño experimental**

El conjunto de datos utilizados se derivó de una línea de investigación sobre alimentación de cerdos con dietas bajas en proteína en la etapa de finalización. Los datos se encuentran publicados en revistas científicas, en manuscritos en proceso de arbitraje para su publicación, y en material todavía no publicado (tesis de maestría y

doctorado) pero en proceso de elaboración de manuscritos. Se recopilaron de estudios realizados de julio de 2005 a julio de 2011. Los estudios analizados tenían en común evaluar diferentes niveles de proteína en dietas para cerdos en etapa de finalización. Los criterios que se utilizaron en éste meta-análisis para el uso de los datos fueron, en primer lugar, que cada experimento debió tener más de una repetición de cada tratamiento, independientemente del tamaño de la muestra. En segundo lugar tenía que haber una clara comparación de los resultados de los cerdos alimentados con una dieta con nivel de proteína estándar contra el desempeño de los cerdos alimentados con dietas que contenían nivel de proteína diferente al estándar. Y en tercer lugar el experimento tuvo que ser concurrente, es decir, que los tratamientos de cada experimento se aplicaran al mismo tiempo.

Fue importante que los experimentos contaran con el conjunto de datos completos (originales) para asegurar que las omisiones no introdujeran sesgo y construir una base de datos suficientemente grande que fuera insensible a las variaciones en los valores de los distintos experimentos o de la adición o eliminación de los experimentos individuales. Se contó con datos de siete experimentos con un total de 222 cerdos, siendo cada cerdo la unidad experimental (Cuadro 1). En cada estudio los cerdos se alojaron en corral individual de 1.5×1.2 m, equipado con comedero tipo tolva de una boca y bebedero de chupón. En todos los experimentos el agua y el alimento se ofrecieron a libre acceso. La limpieza de corrales e inspección del estado de salud de los cerdos se realizó diariamente. El cambio de peso de los cerdos para calcular ganancia diaria de peso (GDP), consumo de alimento (CONS) y conversión alimenticia (CA), se obtuvo semanalmente. El último día de cada experimento se tomaron muestras de sangre mediante punción en la vena cava utilizando un tubo vacutainer con heparina, que se colocaron en hielo hasta centrifugarse durante 20 min a 2,500 rpm (1,286 xg) para separar el plasma y las células sanguíneas. El plasma se colocó en tubos de polipropileno y se congeló a -20 °C hasta realizar las determinaciones de urea en plasma por espectrofotometría de absorción atómica (Chaney y Marbach, 1962).

El día primero y último de la etapa en cada experimento se midió grasa dorsal (GD) y el área del músculo longissimus (AML) con un ultrasonido de tiempo real

Sonovet 600 (Medison, Inc., Cypress, California, USA). Con estos datos y los de peso inicial y final, se calculó la ganancia de carne magra (GCM) y el porcentaje de carne magra (PCM) en la canal, con la ecuación del NPPC (1991).

### **3.4.2. Análisis estadístico**

Para investigar el efecto de los factores sobre las variables de respuesta se utilizó el siguiente modelo:  $Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + \alpha_k + \varepsilon_{ijk}$ ; donde  $\mu$  = media general;  $T_i$  = efecto del  $i$ -ésimo experimento;  $\beta_j$  = efecto de la  $j$ -ésima época del año;  $\alpha_k$  = efecto del  $k$ -ésimo aditivo;  $\varepsilon_{ijk}$  = error experimental asociado con cada medición. Del análisis de varianza se obtuvieron los promedios del comportamiento productivo dentro de las cuales se consideró: CONS, GDP, CA, GCM y PF; y en las características de la canal se contempló: GD, PCM, AML; y la concentración de urea en plasma.

Posteriormente se realizó un análisis de regresión lineal y cuadrática usando un modelo de superficie de respuesta con el comando RSREG de SAS (2009), técnica de optimización basada en planeamientos factoriales para obtener el nivel de proteína para las diferentes variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma. Las dietas utilizadas en todos los experimentos fueron a base de sorgo-pasta de soya.

### **3.4.3. Experimento para corroborar el meta-análisis**

Una vez que se analizaron los datos de los experimentos con el meta-análisis, se prosiguió a montar un experimento para corroborar los resultados de las regresiones de donde se obtuvo el nivel de proteína óptimo para cada variable productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma. Los niveles de proteína utilizados en el experimento de corroboración, fueron los de las variables que presentaron mayores valores de  $R^2$  en el meta-análisis y correspondieron a GDP y CDA (12.8 y 11.3%). Adicionalmente, se formuló una tercera dieta con 9.5% de PC, valor que consistentemente había producido buenos resultados productivos en los experimentos utilizados en el meta-análisis.

El experimento se efectuó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, en el Campus Montecillo. Se utilizaron 18 cerdos machos

castrados y 18 hembras (Yorkshire×Duroc×Pietrain) en la etapa de finalización durante 42 días, con un peso promedio de 54.01 kg; el diseño experimental fue completamente al azar, para evaluar tres concentraciones de PC, con doce repeticiones por tratamiento. El modelo estadístico fue el siguiente:  $Y_{ik} = \mu + A_i + \varepsilon_{ik}$ ; donde:  $Y_{ik}$  = variable de respuesta en la k-ésima repetición del i-ésimo contenido de A;  $\mu$  = media general;  $A_i$  = efecto del i-ésimo contenido de proteína;  $\varepsilon_{ik}$  = error experimental.

Las dietas (Cuadro 3) se formularon con base en sorgo-pasta de soya adicionadas con L- Lisina·HCl, L-treonina, DL-metionina y L-triptófano sintéticos, agregados hasta alcanzar los requerimientos nutricionales para la etapa de finalización (NRC, 1998). Los cerdos recibieron las mismas condiciones de alojamiento y manejo que en los experimentos utilizados en el meta-análisis, y las variables analizadas (GDP, CDA, CA, PF, GCM, GD, AML, PCM y Urea en plasma) se midieron de igual manera.

### **3.5. RESULTADOS**

#### **3.5.1. Meta-análisis**

Los resultados del meta-análisis para las variables productivas (Figura 1) mostraron que dietas con baja proteína en la etapa de finalización, para GDP disminuyó la respuesta al bajar el nivel de proteína en la dieta de 14.1 a 9.5% (0.954 kg d<sup>-1</sup> a 0.824 kg d<sup>-1</sup> P≤0.05). Para CONS, el mayor consumo (P≤0.05) se encontró con 14% (3.191 kg d<sup>-1</sup>) y el menor utilizando 10.1% (2.613 kg d<sup>-1</sup>) de PC; mientras que CA fue mejor (P≤0.05) cuando el nivel fue 12.5% en comparación con 9.5% (2.811 vs. 3.35), pero 10.1, 14 y 14.1 % PC fueron similares (P>0.05). En el PF (Figura 3) se observó que al utilizar 10.1, 11.8 y 14% de PC en la dieta hay diferencias (P≤0.05; 84.41, 100.32 y 88.59 kg) entre ellos; pero con 9.5, 12.1 y 14.1% no hubo diferencias (P>0.05; 86.02, 86.88 y 85.89 kg). Para GCM no hubo diferencias (P>0.05) cuando se utilizaron 9.5, 12.5 y 14% PC (0.37, 0.39 y 0.37 kg d<sup>-1</sup>), pero sí (P≤0.05) cuando se disminuyó de 12.5 a 11.8% PC (0.39 a 0.31 kg d<sup>-1</sup>). Para GD se encontraron diferencias (P≤0.005) cuando se utilizaron diferentes niveles de 9.5 a 14.1% PC (Figura 2). En el caso de PCM (Figura 3), cuando se incluyó 11.8% PC se observó mayor (38.48%) porcentaje (P≤0.05), pero los valores fueron similares (P>0.05) con 9.5, 10.1, 12.1 y

14.1% (37.73, 37.52, 37.45 y 37.41%, respectivamente). En el AML, los valores fueron significativamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) con 12.1, 12.5 y 14% (29.84, 23.92 y 28.23 cm<sup>2</sup>, respectivamente) pero similares con 9.5, 10.1 y 11.8% PC ( $P > 0.05$ ; 26.43, 26.03 y 26.97 cm<sup>2</sup>, respectivamente). La concentración de urea en plasma (Figura 4) disminuyó ( $P \leq 0.05$ ) de 15.72 a 2.51 mg dL<sup>-1</sup>, al reducir la PC de la dieta de 12.5 a 9.5%.

### **3.5.2. Ecuaciones de predicción**

Los valores de R<sup>2</sup> (Cuadro 2) de las ecuaciones de predicción obtenidas mediante el modelo de regresión cuadrática, indican si la ecuación es la idónea para predecir la respuesta productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma. Las variables que presentaron los mayores valores de R<sup>2</sup> y el nivel óptimo de PC para la máxima respuesta fueron UREA, GDP, AML y CDA, con 12.74, 12.87, 11.38 y 11.28% de PC, respectivamente.

### **3.5.3. Respuesta a los niveles óptimos de PC obtenidos del meta-análisis**

Se observaron diferencias (Cuadro 4) para las variables productivas PF, GDP y CDA ( $P \leq 0.05$ ) cuando disminuye de 11.3 a 9.5% la proteína en la dieta, excepto para CA en la cual no hubo diferencias ( $P > 0.05$ ). Los cerdos alimentados con 12.8, 11.3 y 9.5% PC mostraron diferencia ( $P \leq 0.05$ ) para GCM (254, 298 y 212 g d<sup>-1</sup> respectivamente). Para las características de la canal, las variables GD, AML y PCM no presentaron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. La concentración de UREA en plasma disminuyó ( $P \leq 0.05$ ) en 32.5% cuando el nivel de PC en la dieta se redujo de 12.8% a 9.5% (Cuadro 5).

## **3.6. DISCUSIÓN**

### **3.6.1. Comportamiento productivo**

En la etapa de finalización, los resultados del meta-análisis mostraron que al reducir la proteína en 4.6 unidades porcentuales en dietas a base de sorgo-pasta de soya, afectó negativamente todas las variables productivas (GDP, CDA, CA, PF y GCM), lo que podría deberse a la deficiencia de algunos AA (Cuadro 2) en las dietas

bajas en PC; esto también lo encontraron Ward y Southern (1995) en dietas con baja PC para cerdos en finalización donde disminuyó el contenido de los AA esenciales histidina, isoleucina y valina, con respecto los requerimientos (Figuroa *et al.*, 2004). También, la menor respuesta de DBP puede atribuirse a que con la reducción en el contenido de proteína en la dieta puede faltar nitrógeno necesario para la síntesis de AA no esenciales (Tuitoek *et al.*, 1997; Heger *et al.*, 1998), ya que en condiciones de adecuado uso de la proteína, parte de los AA esenciales son parcialmente degradados y usados en la síntesis de AA no esenciales (Heger *et al.*, 1998). Esto difiere de lo reportado por otros autores donde no se presentaron diferencias en las variables productivas cuando se redujo el contenido de PC más AA sintéticos en dietas a base de sorgo- pasta de soya (Figuroa *et al.*, 2012; Martínez-Aispuro *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012).

### **3.6.2. Características de la canal**

El meta-análisis mostró que para cerdos en finalización, la disminución de la PC en la dieta afectó negativamente las características de la canal (GD, PCM, AML), lo que fue similar a lo que reportaron Figuroa *et al.* (2012), donde aumentó la GD, disminuyó el PCM y el AML cuando se redujo en dos puntos porcentuales la PC y se adicionó lisina. La disminución en la ganancia de tejido magro y el aumento en el grosor de la GD de cerdos con las DBP se atribuye a la mayor disponibilidad de energía para la síntesis de lípidos y acumulación de tejido adiposo, como resultado de la reducción de energía para eliminar el exceso de proteína en la dieta (Figuroa *et al.*, 2002; Gómez *et al.*, 2002). Esto difiere de los resultados obtenidos por otros investigadores que al disminuir la PC en la dieta no observaron efecto sobre las características de la canal (Figuroa *et al.*, 2004; Zamora *et al.*, 2010; Martínez-Aispuro *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012).

### **3.6.3. Concentración de urea en plasma**

La concentración de urea en plasma disminuyó cuando se redujo el nivel de PC en la dieta, observándose una reducción considerable cuando bajó de 12.5 a 9.5% PC (15.72 a 2.51 mg dL<sup>-1</sup>). Esto coincide con los datos obtenidos por otros investigadores (Figuroa *et al.*, 2002, 2003; Gómez *et al.*, 2002; Kerr *et al.*, 2003; Nyachoti *et al.*, 2006;

Zamora *et al.*, 2010; Martínez-Aispuro *et al.*, 2009; Martínez-Aispuro *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012). Al bajar el contenido de proteína en la dieta adicionando AA sintéticos se reduce la excreción de N manteniendo el comportamiento productivo (Le Bellego *et al.*, 2001). Una forma indirecta de medir esta reducción es a través de la concentración de urea en plasma, variable que se relaciona linealmente y en forma positiva con la excreción urinaria de N en cerdos alimentados *ad libitum* (Zervas y Zijlstra, 2002). La concentración de urea plasmática es 36% menor en cerdos en finalización (Kendall *et al.*, 1998; Le Bellego *et al.*, 2002); se ha observado que la reducción es proporcional a la disminución de la proteína dietaria (Figuroa *et al.*, 2002).

#### **3.6.4. Respuesta a los niveles óptimos de PC obtenidos**

Los resultados obtenidos utilizando los niveles óptimos de PC, muestran que para cerdos en finalización, utilizar niveles de 12.8 y 11.3% PC utilizando sorgo-pasta de soya y adicionada con AA sintéticos no se afectan las variables productivas, pero la reducción de la proteína en la dieta hasta 9.5% afecta negativamente la respuesta productiva, excepto para CA (Kerr *et al.*, 2004; Canh *et al.*, 1998). Estos resultados son similares a los reportados por Reyes *et al.* (2012) y Martínez-Aispuro *et al.* (2012), pero esto difiere con lo reportado por Figuroa *et al.* (2004, 2012) donde disminuir la PC se afectó negativamente la respuesta productiva en cerdos en finalización. Para las características de la canal, disminuir la PC de 12.8 a 9.5 no tuvo ningún efecto negativo. Esto es similar a lo obtenido por otros investigadores que al bajar la PC en la dieta no tuvo efecto sobre las características de la canal (Figuroa *et al.*, 2012; Martínez-Aispuro *et al.*, 2012; Reyes *et al.*, 2012). Al disminuir la proteína en la dieta los niveles de urea en plasma se reducen linealmente (Figuroa *et al.*, 2002, 2003; Gómez *et al.*, 2002; Kerr *et al.*, 2003), como se observó en el presente experimento, que al disminuir de 12.8 a 9.5% la PC se redujo de 14.465 a 9.7676 mg dL<sup>-1</sup> la urea.

### **3.7. CONCLUSIONES**

Reducir el contenido de PC en la dieta de cerdos en finalización de 12.8 hasta 9.5% afecta negativamente la respuesta productiva y las características de la canal; sin embargo, existe una disminución de la concentración de urea en plasma debido a una menor excreción de nitrógeno. Los resultados del nivel óptimo de PC (12.8 a 9.5%), sugieren que los cerdos en finalización se pueden alimentar con 11.3% PC en dietas con base en pasta de soya adicionada con AA sintéticos sin que se afecten las variables productivas (GDP, CDA, PF, CA); y las características de la canal (GD, AML, PCM).

### **3.8. LITERATURA CITADA**

- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Estrada-Godoy, J. 2011. Adición de ractopamina a dietas con baja proteína formuladas con tres niveles de lisina digestible para cerdos en engorda. Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, and R. M. Diedrichsen. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. Anim. Sci.* 81: 1529-1537.
- Figuroa, J. L., M. Cervantes, M. Cuca, and M. Méndez. 2004. Growth performance of growing-finishing pigs fed diets low in protein and energy. *Agrociencia* 38: 383–394.
- Figuroa, J. L.; J. Estrada, V. Zamora; J. L. Cordero; M. T. Sánchez-Torres; R. Nieto; 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. Agric. Food Res.* 51: 33–44.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, and H. Y. Chen. 2002. Growth performance, diet apparent digestibility and plasma metabolite of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.
- Hayes, E. T., A. B. G. Leek, T. P. Curran, V. A. Dodd, O. T. Carton, V. E. Beattie, and J. V. O'Doherty. 2004. The influence of dietary crude protein level on odor and ammonia emissions from finishing pig houses. *Biores. Technol.* 91: 309-315.
- Heger, J., S. Mengesha, and D. Vodehnal. 1998. Effect of essential: total nitrogen ratio on protein utilization in the growing pig. *Br. J. Nutr.* 80: 537-544.
- Kendall, D. C., K. M. Lemenager, B. T. Richert, A. L. Sutton, J. W. Frank, B. A. Belstra, and D. Bundy. 1998. Effects of intact protein diets versus reduced crude protein diets supplemented with synthetic amino acids on pig performance and ammonia levels in swine buildings. *Purdue University Swine Day*, West Lafayette, IN, USA. Pp. 141-146.
- Kerr, B. J., L. L. Southern, T. D. Bidner, K. G. Friesen, and R. A. Easter. 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81:3075-3087.
- Le Bellego, L., J. Van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 1259-1271.
- Le Bellego, L., J. van Milgen, and J. Noblet. 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 691-701.
- 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: 27-38.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa-Velasco, V. Zamora-Zamora, M. T. Sánchez-Torres, M. E. Ortega-Cerrilla, J. L. Cordero-Mora, A. Ruiz-Flores, and S. González-Muñoz. 2012. Effect of fatty acids source on growth performance, carcass characteristics, plasma urea nitrogen concentration, and fatty acid profile in meat of pigs fed standard- or low-protein diets. Spanish J. Agric. Res. 10: 993-1004.
- National Pork Producers Council. 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3<sup>rd</sup> ed. National Pork Producers Council. Des Moines, IA. USA. 19 p.
- NRC. 1998. Nutrient requirements of swine. 10<sup>th</sup> edition. National Research Council. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Nyachoti, C. M., F. O. Omogbenigun, M. Rademacher, and G. Blank. 2006. Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early-weaned pigs fed low-protein amino acid-supplemented diets. J. Anim. Sci. 84: 125-134.
- Reyes, I. 2010. Probiótico Fecinor (*Enterococcus faecium*), adicionado a dietas estándar y con baja proteína para cerdos en engorda. Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.
- Reyes, I., J. L. Figueroa, M. A. Cobos, M. T. Sánchez-Torres, V. Zamora, y J. L. Cordero. 2012. Probiótico (*Enterococcus faecium*) adicionado a dietas estándar y con baja proteína para cerdos. Archivos de Zootecnia. 61 (236): 589-598.
- Reyna, L. 2006. Balance de nitrógeno, digestibilidad y comportamiento productivo de cerdos alimentados con dietas formuladas con nuevos híbridos de maíz, y con baja proteína adicionada con proteasas. Tesis de Doctorado en Ciencias, Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.
- Rivera, A. 2008. Adición de oligomananos o nucleótidos a dietas con baja proteína para cerdos en finalización. Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.

- SAS INSTITUTE. SAS/STAT: User's Guide, 2<sup>nd</sup> edition. 2009. SAS Institute Inc. Cary NC. USA.
- Shriver, J. A., S. D. Carter, A. L. Sutton, B. T. Richert, B. W. Senne, and L. A. Pettey. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 492-502.
- Tuitoek, K., L. G. Young, C. F. M. de Lange, and B. J. Kerr. 1997. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an evaluation of the ideal protein concept. *J. Anim. Sci.* 75: 1575-1583.
- Ward, T. L., and L. L. Southern. 1995. Sorghum amino acid-supplemented diets for the 50-to-100-kilogram pig. *J. Anim. Sci.* 73: 1746–1753.
- Zamora, V. 2006. Respuesta productiva de cerdos en engorda alimentados con dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con glucomananos. Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, México.
- Zamora, V., J. L. Figueroa, J. L. Cordero, M. Rugerio, L. Reyna, and M. T. Sánchez-Torres. 2010. Addition of glucomannans to low-protein diets based on sorghum-soybean meal for growing and finishing pigs. *Revista Científica FCV-LUZ* 20:274–283.
- Zervas, S., and R. T. Zijlstra. 2002. Effects of dietary protein and oathull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 3238-3246.

Cuadro 3.1. Resumen de los estudios utilizados para evaluar el comportamiento productivo, características de la canal y la concentración de urea en plasma en cerdos en finalización

Estudio	No. de cerdos	Raza	Sex	PV inicial	PV final	Periodo días
Martinez Aispuro, (2005)	24	Landrace×Yorkshire×Duroc	Machos castrados	48.6	74	28
Reyna Santamaría, (2006)	32	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	50.3	91.8	42
Zamora Zamora, (2006)	32	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	49.5	82.4	35
Rivera Urbina, (2008)	32	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	56.5	87.4	35
Rivera Urbina, (2008)	30	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	58.4	92.9	35
Reyes Vázquez, (2010)	36	Landrace×Yorkshire×Duroc	Machos castrados	51.3	81.9	35
Estrada Godoy, (2011)	36	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	54.28	99.77	56

Las dietas utilizadas en todos los experimentos fueron a base de sorgo-pasta de soya.

En todos los experimentos las variables respuesta fueron: GDP, CDA, CA, PF, GCM, GD, AML, PCM y Urea en plasma.

Cuadro 3.2. Nivel de proteína para obtener la mayor respuesta en la ganancia diaria de peso, consumo de alimento, concentración de urea en plasma y área del músculo *longissimus* de cerdos en finalización

VARIABLE	NPC	ECUACIÓN	
GDP	12.87	$-0.73387 + 0.2626(PC) - 0.01095(PC^2)$	$R^2=0.5391$
CDA	11.28	$8.4677 - 1.01643(PC) + 0.04502(PC^2)$	$R^2=0.4689$
UREA	12.74	$-141.31 + 24.2108(PC) - 0.94967(PC^2)$	$R^2=0.6073$
AML	11.38	$77.681 - 9.304(PC) + 0.4085(PC^2)$	$R^2=0.4317$

NPC=nivel de proteína cruda; GDP=ganancia diaria de peso; CDA=consumo diario de alimento; UREA=concentración de urea en plasma; AML=área de músculo *longissimus*.

Cuadro 3.3. Composición de las dietas para cerdos en finalización del experimento de corroboración de niveles óptimos de baja proteína

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	NRC*
Ingrediente, %				
Sorgo	82.979	87.052	91.938	
Soya	11.934	7.552	2.295	
Aceite crudo de soya	2.086	2.134	2.192	
Ortofosfatos	0.684	0.709	0.740	
CaCO <sub>3</sub>	1.332	1.337	1.343	
Sal común	0.350	0.350	0.350	
Vitaminas **	0.150	0.150	0.150	
Minerales ***	0.100	0.100	0.100	
Tripto + Plus ****	0.312	0.451	0.618	
DL-Metionina	0.0136	0.0499	0.0941	
L-Treonina	0.0602	0.1151	0.1799	
<b>TOTAL</b>	100	100	100	
<b>Análisis calculado</b>				
EM, Mcal Kg <sup>-1</sup>	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda, %	12.8	11.3	9.5	14.0
Ca	0.700	0.700	0.700	0.700
Fósforo total	0.439	0.428	0.415	0.447
Fósforo disponible	0.23	0.23	0.23	0.23
Lisina, %	0.66	0.66	0.66	0.669
Treonina, %	0.43	0.43	0.43	0.43
Triptófano, %	0.166	0.169	0.173	0.166
Metionina + cistina, %	0.39	0.39	0.39	0.404
Arginina, %	0.616	0.494	0.347	0.714
Histidina, %	0.282	0.244	0.199	0.312
Isoleucina, %	0.528	0.462	0.383	0.580
Leucina, %	1.338	1.258	1.162	1.402
Valina, %	0.593	0.531	0.456	0.642
Fenilalanina + tirosina	1.083	0.968	0.831	1.173
Proteína cruda, %	15.13	14.48	10.24	
Calcio, %	1.02	0.68	0.90	
Fósforo total, %	0.94	0.49	0.52	

\*Sugerencia de nutrimentos para cerdos en la etapa de crecimiento (20-50 Kg de peso vivo) por el NRC (1988).

\*\*Cada Kg de alimento aportó: Vit. A, 15,000 UI; Vit. D<sub>3</sub>, 2,500 UI; Vit. E, 37.5 UI; Vit. K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; ácido fólico, 1.25 mg; ácido pantoténico, 20 mg; colina, 563 mg;

\*\*\*Aporto por cada 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.

\*\*\*\*Tripto-Plus contiene: proteína cruda, 95%; lisina, 55.3%; treonina, 0.15%; triptófano, 15%; valina, 0.5%; metionina+cistina, 1.75%.

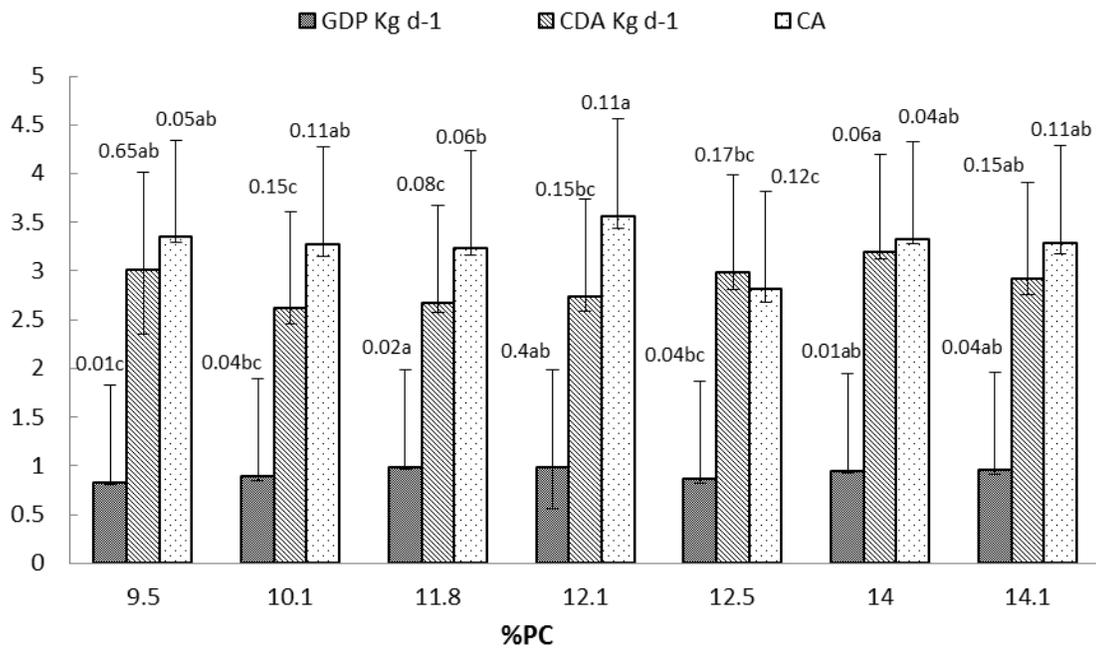


Figura 3.1. Meta-análisis del efecto del nivel de PC incluida en la dieta de cerdos en finalización sobre las variables ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA) y conversión alimenticia (CA).

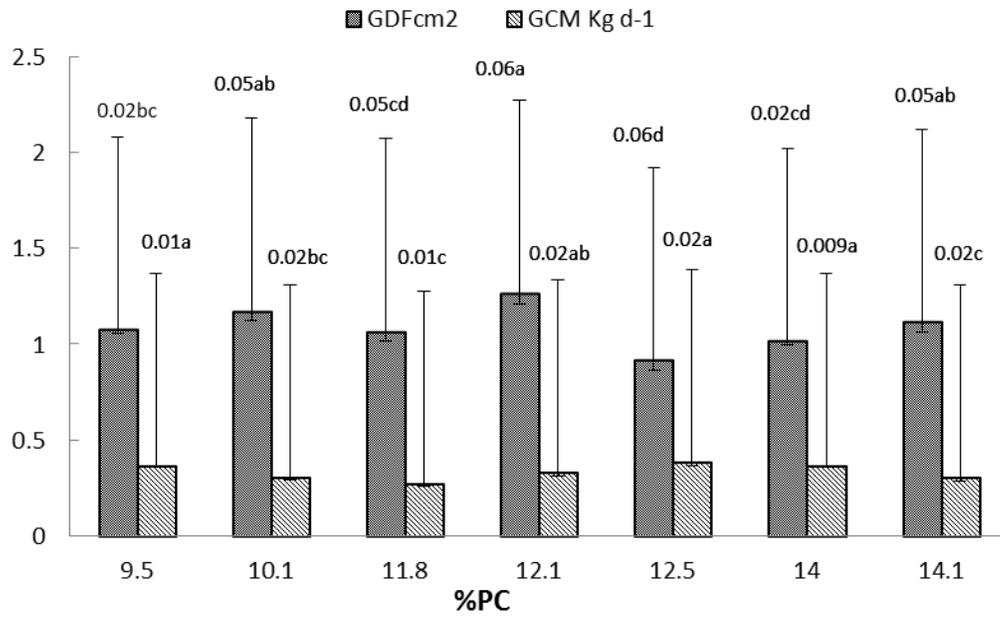


Figura 3.2. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en finalización sobre las variables grasa dorsal final (GDF) y ganancia de carne magra (GCM).

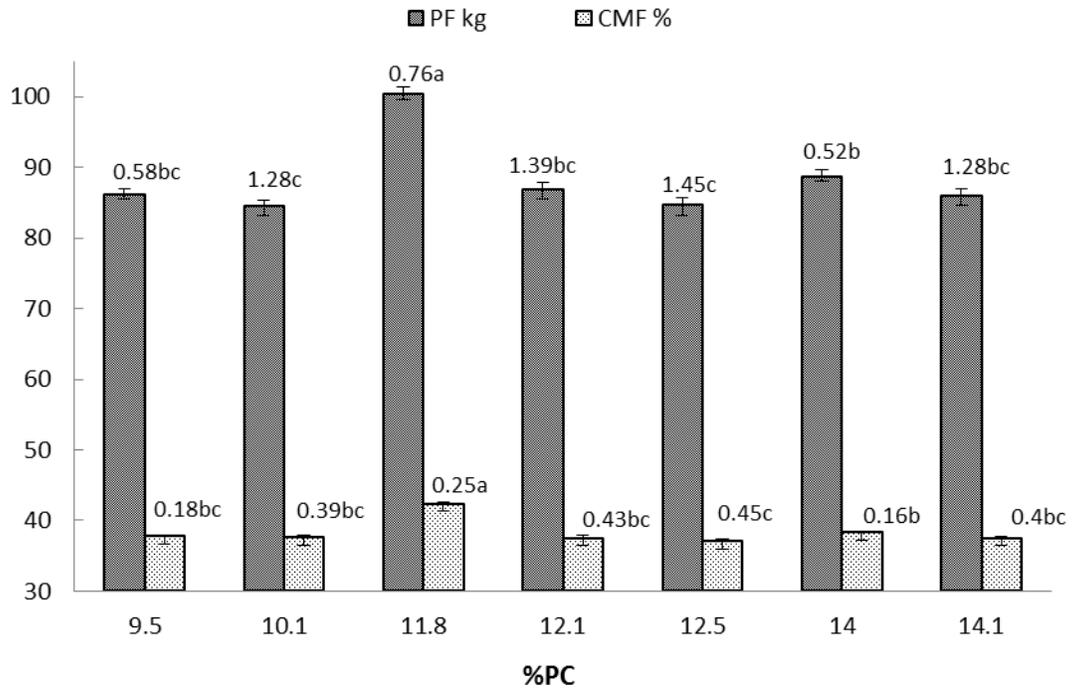


Figura 3.3. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en finalización sobre las variables porcentaje de carne magra final (%CMF) y peso final (PF).

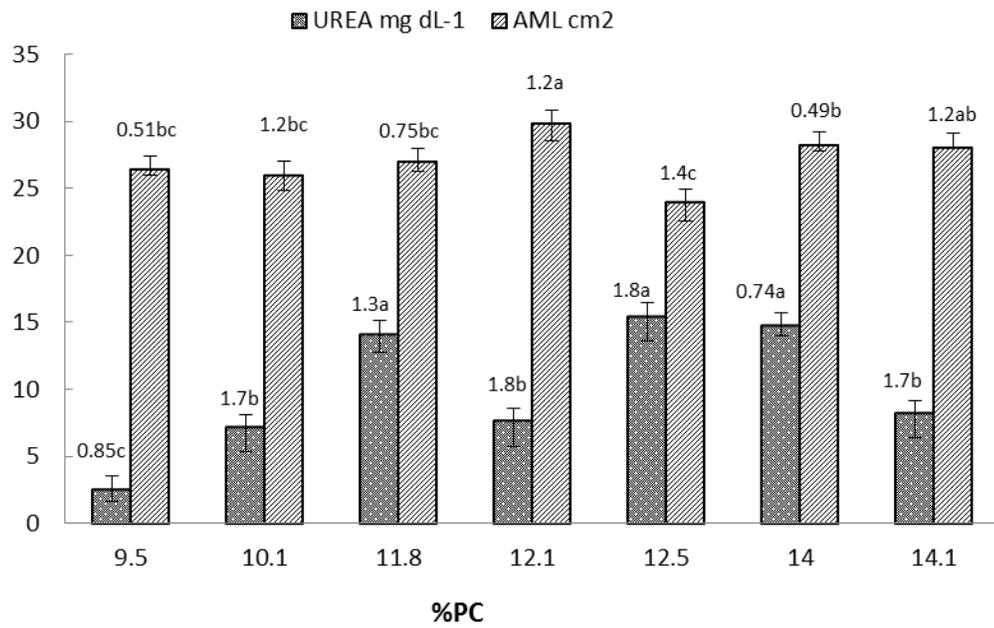


Figura 3.4. Meta-análisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos en finalización sobre las variables área del músculo *longissimus* (AML) y concentración de urea en plasma (UREA)

Cuadro 3.4. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre el comportamiento productivo en cerdos en finalización (experimento de corroboración)

TRAT	PC (%)	PI (kg)	PF (kg)	GDP (g d <sup>-1</sup> )	CDA (g d <sup>-1</sup> )	CA	GCM (g d <sup>-1</sup> )
1	12.8	53.59	86.71 <sup>ab</sup>	0.779 <sup>a</sup>	2643 <sup>ab</sup>	3.6	254 <sup>b</sup>
2	11.3	54.93	90.27 <sup>a</sup>	0.864 <sup>a</sup>	2819 <sup>a</sup>	3.2	298 <sup>a</sup>
3	9.5	53.38	82.42 <sup>b</sup>	0.677 <sup>b</sup>	2443 <sup>b</sup>	3.6	212 <sup>c</sup>
EEM			1.56	0.372	0.104	0.208	0.014
Fuente de variación			Valor de P				
PC			0.0057	0.0056	0.054	0.312	0.0011

<sup>a,b,c</sup> Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ( $P \leq 0.005$ ).

PC=proteína cruda; GDP=ganancia diaria de peso; CAL=consumo diario de alimento; CA=conversión alimenticia; PI= peso inicial; PF= peso final; GCM=ganancia diaria de carne magra.

Cuadro 3.5. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda incluida en la dieta sobre las características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en finalización

TRAT	PC	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLi (cm <sup>2</sup> )	AMLf (cm <sup>2</sup> )	CMi (%)	CMf (%)	UREA (mg dL <sup>-1</sup> )
1	12.8	5.599	11.64	20.724	29.321	42.029	38.507	14.465 <sup>a</sup>
2	11.3	5.348	11.29	20.439	31.466	42.031	39.013	12.383 <sup>ab</sup>
3	9.5	5.125	10.42	21.540	27.814	42.824	38.858	9.767 <sup>b</sup>
EEM			0.459		1.494		0.464	0.915
Fuente de variación				Valor de P				
PC			0.143		0.248		0.7211	0.0022

<sup>a,b</sup>Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ( $P \leq 0.005$ ).

GDI=grasa dorsal inicial; GDF=grasa dorsal final; AMLi=área de músculo *longissimus* inicial; AMLf=área de músculo *longissimus* final; %CMi=porcentaje de carne magra inicial; %CMf=porcentaje de carne magra final; UREA=concentración de urea en plasma.

## **VII. CONCLUSIONES GENERALES**

El meta-análisis de resultados obtenidos con varios estudios previos, es una herramienta sencilla y económica para predecir los efectos del nivel de PC sobre los parámetros productivos, características de la canal y concentración de urea en plasma.

La reducción en la concentración de proteína en cerdos en iniciación hasta el 14.5% afecta adversamente la GDP, CA Y GCM; sin embargo no se ven afectadas las características de la canal. Los resultados del nivel óptimo de PC sugieren que los cerdos en iniciación se pueden alimentar con dietas bajas en PC (16.5%) con base en sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos sin afectar las variables productivas, ni características de la canal.

Para cerdos en crecimiento reducir el contenido de PC en la dieta hasta 11.5% afecta negativamente GDP, CA y PF; además se ven afectadas las características de la canal como GD, PCM y ML. Se puede utilizar el nivel óptimo (15.11% PC), sin que se afecten las variables GDP, PF y CA, y utilizar (12.55% PC) sin que se afecten GD, AML y PCM.

Reducir el contenido de PC en la dieta de cerdos en finalización de 12.8 hasta 9.5% afecta negativamente la respuesta productiva y las característica de la canal. El nivel óptimo de PC es 11.3%, en donde no se afectan las variables productivas (GDP, CD, PF Y CA); y las características de la canal (GD, ML, PCM).

Para las tres etapas se observó una menor concentración de urea en plasma cuando se disminuye la concentración de PC% en dietas a base de sorgo-pasta de soya.