



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

**RESPUESTA DE CERDOS EN INICIACIÓN ALIMENTADOS CON
DIETAS ESTÁNDAR O CON BAJA PROTEÍNA ADICIONADAS
CON MANANO-OLIGOSACÁRIDOS O NUCLEÓTIDOS**

EVA SALINAS SÁNCHEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

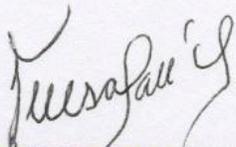
2011

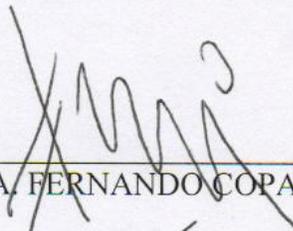
La presente tesis, titulada: Respuesta de cerdos en iniciación alimentados con dietas estándar o con baja proteína adicionadas con manano-oligosacáridos o nucleótidos, realizada por la alumna: Eva Salinas Sánchez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

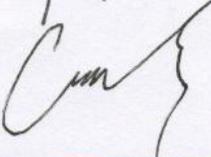
MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD-GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. JOSÉ LUIS FIGUEROA VELASCO

ASESORA: 
DRA. MARÍA TERESA SÁNCHEZ-TORRES ESQUEDA

ASESOR: 
DR. JOSÉ MA. FERNANDO COPADO BUENO

ASESOR: 
DR. CARLOS NARCISO GAYTÁN

Montecillo, Texcoco, México, 03 de febrero de 2011

RESUMEN

RESPUESTA DE CERDOS EN INICIACIÓN ALIMENTADOS CON DIETAS ESTÁNDAR O CON BAJA PROTEÍNA ADICIONADAS CON MANANO-OLIGOSACÁRIDOS O NUCLEÓTIDOS

Eva Salinas Sánchez, M. en C.

Colegio de Postgraduados 2011.

Se realizaron dos experimentos para evaluar la respuesta productiva (ganancia diaria de peso, GDP; consumo diario de alimento, CDA; conversión alimenticia, CA; peso final, Pf; ganancia de carne magra, GCM), las características de la canal (grasa dorsal final, Gdf; área del músculo *longissimus* final, AMLf; porcentaje de carne magra final, PCMf) y la concentración de urea en plasma (Exp. 2) en cerdos en iniciación alimentados con dietas con base en sorgo-pasta de soya bajas en proteína (DBP) y con proteína estándar con la adición de AA sintéticos y dos tipos de aditivos en sustitución del antibiótico. En el Exp. 1, se utilizaron 32 cerdos machos castrados con 13.5 ± 1.48 kg de peso, quienes recibieron dos concentraciones de PC (20.0 y 14.5%) y cuatro de manano-oligosacáridos (MOS; 0.0, 0.1, 0.2, 0.3%) y fueron distribuidos en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 2×4 con cuatro repeticiones por tratamiento. En el Exp. 2, 30 cerdos (18.12 ± 2.09 kg) machos castrados recibieron tres niveles de PC (20.5, 18.5, y 16.5%) y dos de nucleótidos (NUC; 0.0, y 0.6%), distribuidos en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 3×2 con cinco repeticiones por tratamiento. En el Exp. 1 no se observaron efectos de los factores en estudio sobre la respuesta productiva ni sobre las características de la canal; sin embargo, se observó una tendencia a reducirse la GDP ($P=0.09$), Pf ($P=0.06$) y Gdf ($P=0.08$), y a aumentar la CA ($P=0.08$) conforme disminuyó la PC en la dieta. Con la adición de 0.2% de MOS se observó una tendencia a aumentar CDA ($P=0.09$) y CA ($P=0.07$). En el Exp. 2, no hubo diferencias entre tratamientos para las variables productivas, pero la concentración de UREA en plasma disminuyó ($P \leq 0.0001$) y la GCM ($P \leq 0.03$) aumentó al reducirse la PC en la dieta; y se detectó una interacción PC \times NUC para AMLf ($P \leq 0.0008$) y PCMf ($P \leq 0.001$) en donde, al disminuir la PC en la dieta y agregar NUC, aumentaron ambas variables. La inclusión de NUC tendió ($P \leq 0.1$) a aumentar la concentración de urea en plasma. Los resultados indican que una dieta con 14.5 ó 16.5% y la adición de aminoácidos sintéticos puede mantener la respuesta productiva y las características de la canal de los cerdos en

iniciación. Asimismo, la incorporación de manano-oligosacáridos a las dietas con baja proteína no mejora la respuesta productiva ni las características de la canal. La adición de nucleótidos a las dietas no mejora la respuesta productiva, pero tiene efectos positivos sobre algunas variables de la canal de los cerdos en iniciación. Ambos prebióticos pueden utilizarse en sustitución del antibiótico de la dieta.

Palabras clave: cerdos en iniciación, dietas con baja proteína, manano-oligosacáridos, nucleótidos.

ABSTRACT

RESPONSE OF NURSERY PIGS FED STANDARD OR LOW-PROTEIN DIETS SUPPLEMENTED WITH MANNAN-OLIGOSACCHARIDES OR NUCLEOTIDES

Eva Salinas Sánchez, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2011.

Two experiments were conducted to evaluate the growth performance (average daily gain, ADG; average daily feed intake, ADFI; feed:gain ratio, FGR; final body weight, BWf; fat free lean gain, FFLG), carcass characteristics (final backfat, Bff; final *longissimus* muscle area, LMAf; lean meat percentage, LMP), and the plasma urea nitrogen concentration (PUN; Exp. 2) in nursery pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein (LP) or standard protein diets supplemented with crystalline amino acids (AA) and two additives in substitution of dietary antibiotic. In Exp. 1, 32 barrows weighing 13.5 ± 1.48 kg were fed two levels of crude protein (CP; 20.0, and 14.5%) and two levels of mannan-oligosaccharides (MOS; 0.0, 0.1, 0.2, and 0.3%). Pigs were distributed in a completely randomized block design in a factorial 2×4 arrangement with four replicates per treatment. In Exp. 2, 30 barrows (18.12 ± 2.09 kg) were fed three concentrations of CP (20.5, 18.5, and 16.5%) and two levels of nucleotides (NUC; 0.0, and 0.6%), allotted in a completely randomized block design in a 3×2 factorial arrangement with five replicates per treatment. In Exp. 1, there was no effect of analyzed factors on growth performance and carcass characteristics. However, a trend was observed to reduce the ADG ($P=0.09$), fBW ($P=0.06$) and Bff ($P=0.08$), and to increase FGR ($P=0.08$) as CP was reduced in the diet. It was detected another trend to increase ADFI ($P=0.09$) and FGR ($P=0.07$) with 0.2% MOS addition. In the Exp. 2, there was no effect of analyzed factors on growth performance; the PUN concentration lowered ($P \leq 0.0001$) and the FFLG increased ($P \leq 0.03$) as dietary CP was reduced, and a PC \times NUC interaction was observed for LMA ($P \leq 0.0008$) and LMP ($P \leq 0.001$), where both variables increased as CP was reduced and NUC was added to feed. The supplementation with NUC had a tendency ($P \leq 0.1$) to increase the PUN concentration. These results suggest that dietary crude protein level as low as 14.5 or 16.5% supplementing with crystalline AA can support the growth performance and carcass characteristics of nursery pigs. Also, the mannan-oligosaccharides incorporation to low-

protein diets does not improve growth performance and carcass characteristics in this stage of growth. Although nucleotides addition to diets does not improve the growth performance either, they have positive effects on some carcass variables of nursery pigs. Both prebiotics can be used to substitute the dietary antibiotics.

Key words: nursery pigs, low-protein diets, mannan-oligosacharides, nucleotides.

DEDICATORIA

A Dios porque siempre está aquí para guiar mi vida.

A mis padres por su apoyo decidido e incondicional, por ser ejemplo de humildad, respeto, bondad y lucha continua en bienestar de nuestra familia.

A mis hermanos y a mi hermana quienes siempre están dispuestos a compartir momentos valiosos, y no dudan en apoyar unos a otros cuando las cosas no marchan por buen camino.

A Ezequiel porque ser un luchador incansable en busca del bienestar familiar, del buen desempeño profesional y un gran ser humano. Gracias cielo por tu amor, apoyo confianza y comprensión.

A mis hermosos Ángeles Miguel Eduardo y Arely Mizar que han cambiado mi vida dándole mayor sentido y gran felicidad.

A mis sobrinos (as) quienes son la felicidad de la familia, y de quienes todos esperamos que se conviertan en hombres y mujeres íntegros (as).

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad que me brindó para realizar mis estudios y lograr otra de las metas más importantes de mi vida profesional.

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

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

A la Dra. María Teresa Sánchez-Torres Esqueda, por su invaluable apoyo profesional y moral durante la realización de este trabajo de tesis.

Al Dr. José Ma. Fernando Copado Bueno, al Dr. Carlos Narciso Gaytán y al Dr. Vicente Zamora Zamora por las observaciones, sugerencias y comentarios para enriquecer el presente trabajo.

A los doctores del Colegio de Postgraduados porque a través de sus cursos aprendí y reafirme conocimientos y en otros casos generaron nuevas inquietudes acerca de algún tema de estudio, pero todo en beneficio de mi superación.

A mis amigas y amigos por su confianza y apoyo en todo momento: Cecilia Dainé, Maricela, Verónica, Laura, Tania, Esther Huerta, Liliana, Miriam, Teresa, Nayelly, Ezequiel, José Alberto, Vampiro, Borrego, Amauri, Edgar Antonio, Luis Felipe.

A mis compañeras y compañeros, sobre todo con quienes compartí cursos, trabajos o convivios.

Al personal del Laboratorio de Nutrición por su valiosa colaboración.

Al personal de apoyo administrativo de Ganadería por su atención siempre amable y servicial.

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE CUADROS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. La proteína en la alimentación del cerdo.....	4
2.2. Dietas con baja proteína.....	5
2.2.1. Metabolismo del nitrógeno.....	5
2.2.2. Comportamiento productivo.....	7
2.2.3. Concentración de aminoácidos en plasma.....	9
2.2.4. Calidad de la canal.....	9
2.3. Concentración de lisina en las dietas.....	10
2.4. Relación lisina-energía.....	11
2.5. Probióticos.....	12
2.6. Prebióticos.....	12
2.7. Glúcidos.....	12
2.7.1. Manano-oligosacáridos.....	13
2.7.2. Efecto de los oligosacáridos sobre la flora intestinal.....	14
2.7.3. Efecto de los oligosacáridos en el cerdo.....	16
2.8. Nucleótidos.....	17
2.8.1. Biosíntesis de nucleótidos.....	18
2.8.2. Síntesis <i>de novo</i> de nucleótidos púricos.....	18
2.8.3. Síntesis <i>de novo</i> de nucleótidos pirimídicos.....	19
2.8.4. Degradación de purinas.....	21
2.8.5. Digestión y absorción de ácidos nucleicos.....	21
2.8.6. Digestión de nucleótidos en el cerdo.....	22
2.8.7. Vías de recuperación o salvamento de nucleótidos.....	23
2.8.8. Efecto de los nucleótidos en el organismo.....	23
2.8.9. Fuentes de nucleótidos para la alimentación animal.....	26
2.8.10. Comportamiento productivo del cerdo.....	26
III. JUSTIFICACIÓN.....	28
IV. OBJETIVOS.....	29
4.1. Experimento 1.....	29
4.2. Experimento 2.....	29
V. HIPÓTESIS.....	29
5.1. Experimento 1.....	29
5.2. Experimento 2.....	29
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	30

6.1. Tratamientos	30
6.2. Variables evaluadas	33
6.3. Material experimental y manejo de los animales	33
6.4. Procedimiento experimental	33
6.5. Diseño y análisis estadístico	34
6.5.1. Experimento 1 (manano-oligosacáridos).....	34
6.5.2. Experimento 2 (nucleótidos)	34
Análisis de laboratorio.....	35
VII. RESULTADOS	36
7.1. Experimento 1 (manano-oligosacáridos).....	36
7.2. Experimento 2 (nucleótidos)	36
VIII. DISCUSIÓN	38
8.1. Experimento 1 (manano-oligosacáridos).....	38
8.2. Experimento 2 (nucleótidos)	39
IX. CONCLUSIONES.....	41
9.1. Experimento 1 (Manano-oligosacáridos)	41
9.2. Experimento 2 (Nucleótidos)	41
X. LITERATURA CITADA.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Síntesis <i>de novo</i> de nucleótidos púricos.....	19
Figura 2. Síntesis <i>de novo</i> de nucleótidos pirimídicos.	20
Figura 3. Fosforilación y desfosforilación de nucleótidos.	20
Figura 4. Síntesis del timidilato.....	21
Figura 5. Degradación de purinas.....	22
Figura 6. Vías de recuperación de nucleótidos.....	23

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos experimentales.....	30
Cuadro 2. Dietas para cerdos en iniciación (10-20 kg.; Experimento 1).....	31
Cuadro 3. Dietas para cerdos en iniciación (10-20 kg.; Experimento 2).....	32
Cuadro 4. Efecto del nivel de proteína cruda y de manano-oligosacáridos sobre la respuesta productiva de cerdos machos castrados en iniciación (Experimento 1).....	52
Cuadro 5. Efecto del nivel de proteína cruda y de manano-oligosacáridos sobre las características de la canal de cerdos machos castrados en iniciación (Experimento 1).	53
Cuadro 6. Efecto del nivel de proteína cruda y de nucleótidos sobre la respuesta productiva de cerdos machos castrados en iniciación (Experimento 2).	54
Cuadro 7. Efecto del nivel de proteína cruda y de nucleótidos sobre las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos machos castrados en iniciación (Experimento 2).....	55

LISTA DE ABREVIATURAS

AA = Aminoácidos

AMLf = Área de músculo *longissimus* final

AMLi = Área de músculo *longissimus* inicial

CA = Conversión alimenticia

CDA = consumo diario de alimento

DBP = dietas con baja proteína

EEM = Error estándar de la media.

EM = Energía metabolizable

GCM = Ganancia de carne magra

GDf = Grasa dorsal final

GDi = Grasa dorsal inicial

GDP = Ganancia diaria de peso

MOS = Manano-oligosacáridos

N = Nitrógeno

NUC = Nucleótidos

PC = Proteína cruda

PCMf = Porcentaje de carne magra final

PCMi = Porcentaje de carne magra inicial

Pf = Peso final

Pi = Peso inicial

TRAT = Tratamiento

UREA = Concentración de urea en plasma

I. INTRODUCCIÓN

La producción porcina enfrenta el reto de cubrir la demanda de productos inocuos para el consumidor, y conjuntar las necesidades específicas de nutrientes para la expresión óptima de las características productivas y de calidad de la canal, que han sido difíciles de determinar por la variación en líneas genéticas, etapas de producción, sexo y ambiente en que se desarrolla la actividad.

El destete es la etapa más crítica para el cerdo, después del nacimiento, porque representa el reto de enfrentarse a un ambiente totalmente desconocido donde cambiará su dieta de líquida, tibia, y fresca a una dieta sólida que debe tomarla de un comedero que no conoce y que posiblemente al principio apenas lo alcance; y debe tomar agua de un bebedero. El cerdo pasa de la tibia, protegida y familiar sala de maternidad a la jaula o corral de destete, donde el ambiente es totalmente distinto; en principio tiene que aprender a comer y tomar agua, pelear durante el establecimiento de jerarquías y retar a su organismo a termoregularse eficientemente. Como puede notarse, el panorama no es lo más adecuado para un recién destetado, porque sufre cambios fisiológicos difíciles de detectar que comprometen su salud, desempeño productivo y desafortunadamente en muchas ocasiones su vida.

Y es aquí donde debe tomarse en cuenta uno de los cambios más drásticos que tiene lugar: la renovación del epitelio gastrointestinal. Es claro que uno de los órganos más grandes del sistema inmune y del sistema digestivo es el intestino. Por lo anterior, la meta es lograr que los cambios que sufra este órgano sean sólo una etapa de transición incapaz de afectar negativamente al animal. Hay que establecer estrategias que conduzcan a mantener la salud de los animales evitando el uso de antibióticos, obtener su óptima eficiencia productiva y calidad de la canal, y mantener prácticas que ayuden al cuidado del ambiente.

La etapa de iniciación es donde más se han utilizado antibióticos y aditivos encaminados a mantener sobre todo la salud de los animales, principalmente porque es cuando el animal sufre el mayor estrés y se enfrenta al reto de dejar la inmunidad innata y adquirir la adaptativa, donde la salud del epitelio intestinal tiene vital importancia (Gallois, *et al.*, 2009). En el tránsito de la vida de lactante a consumidor de alimento sólido, el cerdo comúnmente sufre episodios diarreicos que propician cambios drásticos a nivel del tubo gastrointestinal, que además de la salud, comprometen su crecimiento (Stein y Kil, 2006). De ahí que hallar aditivos que propicien

una flora microbiana intestinal benéfica es una de las tareas actuales en la investigación científica, pues se han utilizado antibióticos, ácidos orgánicos, probióticos, prebióticos, nucleótidos, enzimas, y minerales (Dibner y Richards, 2005), entre otros.

En años recientes se ha acentuado la búsqueda de alternativas al uso de antibióticos como promotores del crecimiento animal. Por otro lado, se insiste en el cuidado ambiental, sobre todo, en la disminución de gases de efecto invernadero. En la producción porcina, atendiendo estas necesidades, se han probado distintas estrategias de alimentación. Esto incluye la búsqueda de aditivos que mejoren la respuesta animal, y la formulación de dietas de acuerdo a las necesidades nutricionales de los cerdos (Wenk, 2003).

El uso de dietas con baja proteína (DBP) es una opción viable que permite reducir la cantidad de nitrógeno (N) que es eliminado a través de las excretas (Opapeju *et al.*, 2008) y, con la adecuada adición de aminoácidos (AA) sintéticos, permite mantener el mismo comportamiento productivo que en los cerdos alimentados con dieta estándar en PC, aunque se han encontrado efectos variables sobre la grasa dorsal. Cuando se utiliza sorgo y pasta de soya como base del alimento para cerdos en iniciación, es posible disminuir la concentración de PC de 20.69 hasta 14.86% cuando se utiliza la concentración de urea en plasma como indicador de máxima utilización del nitrógeno de la dieta, y hasta 16% cuando se utilizan las variables productivas como criterio (Trujillo-Coutiño *et al.*, 2007).

Los manano-oligosacáridos son prebióticos que han sido muy utilizados en la alimentación perinatal en humanos, con buenos resultados principalmente sobre la flora intestinal, aunque no se les ha encontrado efecto sobre el crecimiento. Estos aditivos mejoran la concentración de bifidobacterias en humanos, mientras que en cerdos se ha observado que aumentan los lactobacilos (Figuroa-Velasco *et al.*, 2006). En general se les atribuyen efectos positivos sobre la salud intestinal, lo que indica que podrían utilizarse como sustitutos del antibiótico que normalmente se adiciona en dietas para cerdos en iniciación.

Otros aditivos que han llamado la atención son los nucleótidos, debido a que, en condiciones normales de salud y consumo de alimento, el aporte a través de la dieta es adecuado para que cumplan sus funciones como monómeros de ácidos nucleicos (ADN y ARN), como reguladores biológicos (AMP y GMP cíclicos), como componentes de coenzimas (Co-A, NAD⁺, FAD, S-adenosilmetionina) y transportadores de energía (Rong *et al.*, 1998) en la síntesis de lípidos, carbohidratos y proteínas (Nelson y Cox, 2001). Sin embargo, se ha descubierto que

estas biomoléculas se vuelven condicionalmente limitantes cuando el aporte es inadecuado, ya sea por el bajo consumo de alimento, enfermedad, estrés o etapa de rápido crecimiento y por lo tanto, de gran demanda de nutrientes (Uauy *et al.*, 1990; Carver, 1999; Yu, 2002). A estas moléculas se les ha relacionado positivamente con el metabolismo lipídico, el desarrollo del tubo gastrointestinal y del sistema inmune (Manzano *et al.*, 2004) entre otros.

Los nucleótidos tienden a disminuir en la leche con el avance del periodo de lactancia y se ha observado que alrededor del 15% de la necesidad total de estas biomoléculas debe ser cubierta por la dieta (Schlimme *et al.*, 2000); sin embargo, la realidad es que el alimento difícilmente cubre la concentración de nucleótidos 5-monofosfato que aporta la leche de la cerda, a excepción de 5'CMP (Stein y Kil, 2006). El cerdo recién destetado presenta bajo consumo de alimento y por lo tanto, no cubre las necesidades de glutamina y butirato para mantener el estado óptimo de energía y buen funcionamiento del intestino (Gibson *et al.*, 1996).

Por otra parte, para el enterocito la fuente de nucleósidos a través del alimento es de primordial importancia debido a su baja capacidad para sintetizarlos (Manzano *et al.*, 2003), que se acentúa desde luego durante el destete (Uauy *et al.*, 1990).

Conociendo que la disminución de la PC puede mantener efectos positivos en la producción, características de la canal y funcionamiento metabólico animal, es importante evaluar si agregando aditivos como manano-oligosacáridos o nucleótidos a la dieta, es posible mantener o incluso mejorar dichas variables en cerdos en iniciación, especialmente cuando se utilizan en sustitución del antibiótico del alimento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La proteína en la alimentación del cerdo.

La alimentación de cerdos lactantes con dietas formuladas para contener altos niveles de nutrientes disponibles durante sus primeras semanas de vida, ayuda a desarrollar su sistema digestivo, lo prepara para el cambio de dieta al destete, y disminuye los problemas de salud asociados a esta transición y, posteriormente, permite obtener un crecimiento adecuado. En las dietas prácticas para esta especie después del destete (maíz o sorgo–pasta de soya), los aminoácidos (AA) limitantes son lisina, triptófano, treonina y metionina, aunque los diez aminoácidos esenciales para los cerdos son los siguientes: lisina, metionina, treonina, triptófano, isoleucina, histidina, fenilalanina, leucina, valina y arginina (Fuller *et al.*, 1989; NRC 1998).

La disponibilidad comercial de AA sintéticos hace posible reducir la concentración de proteína cruda (PC) en las dietas para cerdos, con la consecuente disminución de compuestos nitrogenados excretados al ambiente (Le Bellego *et al.*, 2001, 2002; Zamora *et al.*, 2006). Por otra parte, el aporte de los AA limitantes es fundamental, y más importante que el nivel de proteína como tal (Santomá, 1991). Respecto a las variables productivas, los resultados han sido inconsistentes en cerdos en engorda (Orlando *et al.*, 2005; Trujillo-Coutiño *et al.*, 2007; Martínez-Aispuro *et al.*, 2009), lo que podría deberse a la magnitud de la reducción de PC (6.1%, 3% y 8.3%, respectivamente) en relación con el requerimiento sugerido por el NRC (1998) para cerdos en iniciación, crecimiento y finalización (20.5, 16, y 14%).

Cabe señalar que el uso de dietas con baja proteína (DBP) está íntimamente ligado al de AA sintéticos, y acerca de cuales de ellos, dependerá del grado de reducción de la PC, pues se ha visto que al usar 12% de proteína para cerdos en crecimiento, deben incluirse isoleucina, valina e histidina, además de los cuatro primeros limitantes (Figuroa *et al.*, 2003; Reynoso *et al.*, 2004), lo cual se debe a que se establece un mejor balance de AA, y puede confirmarse mediante los niveles de urea encontrados en plasma (Figuroa *et al.*, 2002; Martínez-Aispuro *et al.*, 2009), que indican una mejor utilización de la proteína de la dieta (Orlando *et al.*, 2006) y una reducción en la excreción de N (Le Bellego *et al.*, 2001, 2002; Shriver *et al.*, 2003,) sin afectar la calidad de la canal (Le Bellego *et al.*, 2002; Orlando *et al.*, 2006).

El mejoramiento de la eficiencia de utilización de los nutrientes es el objetivo de productores y nutricionistas, que se realiza mediante diversas prácticas, entre ellas, el aumento de

la concentración de lisina con relación al contenido de energía en la dieta. No obstante, el efecto de la densidad energética y de la cantidad de lisina por Mcal de energía metabolizable (EM) sobre la ganancia diaria de peso (GDP), ha sido variable durante la engorda del cerdo (Smith *et al.*, 1999a,b); además, se ha observado una acumulación de grasa dorsal con mayor concentración de energía en el alimento (3.51 Mcal EM/kg), sin importar el nivel de lisina en la dieta (Smith *et al.*, 1999a; Main *et al.*, 2008).

Por lo anterior, es importante analizar la información acerca de la utilización de DBP, su relación con lisina y la EM en dietas para cerdos, con el fin de hallar las cantidades más adecuadas para mejorar las variables productivas y disminuir la cantidad de N excretado al ambiente, con el uso de indicadores como la respuesta productiva, la concentración de N ureico en plasma y las características de la canal.

2.2. Dietas con baja proteína.

El efecto de disminuir la concentración de PC en la dieta puede observarse midiendo variables como: concentración de nitrógeno ureico en plasma (NUP), comportamiento productivo, concentración de AA en tejidos corporales y en plasma, y características de la canal (Figuroa *et al.*, 2002, 2003; Nyachoti *et al.*, 2006; Guay y Trottier, 2006).

2.2.1. Metabolismo del nitrógeno

El metabolismo del nitrógeno (N) en cerdos depende de la concentración de proteína en la dieta. El principal indicador del metabolismo del N es la concentración de N ureico en plasma, que, además, en poco tiempo puede señalar si una dieta es adecuada o no en nutrientes nitrogenados para los cerdos. Trujillo-Coutiño *et al.* (2007) realizaron un experimento con lechones en iniciación (hembras de 10.22 ± 0.35 kg de peso inicial) para determinar el porcentaje mínimo de PC que no afectara el comportamiento productivo; utilizaron NUP como indicador, y encontraron que en cerdos en iniciación y alimentados con dietas sorgo–pasta de soya, la PC podría reducirse de 20.5 a 16% con la adición de lisina, treonina, metionina y triptófano sintéticos para igualar la concentración de estos AA con los de la dieta estándar en PC; mientras que Nyachoti *et al.* (2006) observaron las menores concentraciones de NUP después de la primera semana de tratamiento en los cerdos alimentados con 19 y 17% de PC respecto a

aquellos que consumieron 23% de PC; pero la disminución más importante se encontró al disminuir la PC de 23 a 21% PC. Además, Wahlstrom *et al.* (1985), hallaron que sólo cuando la DBP (12%) para cerdos en crecimiento se adicionó con triptófano, treonina e isoleucina, disminuyó el NUP, aunque siempre fue mayor en la dieta con 16% de PC, lo cual coincide con Brudevold y Southern (1994), quienes compararon la misma variable con 12% y 21.81% de PC. En otro estudio, la concentración de NUP en cerdos en crecimiento fue mayor a los 35 d que a los 14 d de tratamiento (Figueroa *et al.*, 2002); sin embargo, con la adición de los AA histidina, valina e isoleucina, ésta se redujo a los 14 d, pero no a los 35 d con dietas con 11% PC a base de maíz-pasta de soya para cerdos en crecimiento, y lo mismo ocurrió cuando se disminuyó de 16% a 12% PC (Figueroa *et al.*, 2003). Simultáneamente, Shriver *et al.* (2003) mostraron que al proporcionar una DBP (14% PC), se redujo esa variable, aún con la adición de isoleucina y valina. Por su parte, Martínez-Aispuro *et al.* (2009), al utilizar el NUP como indicador, hallaron una respuesta lineal desde 16% PC hasta 10.48% PC en cerdas en crecimiento alimentadas con DBP más AA sintéticos.

Las DBP para cerdos en crecimiento, finalización o en ambas fases, han mostrado que, mientras se disminuye la concentración de este nutriente, también se reduce: la concentración de NUP (Figueroa *et al.*, 2008; Martínez-Aispuro *et al.*, 2009), el consumo de N (Le Bellego *et al.*, 2001; Figueroa *et al.*, 2002; Orlando *et al.*, 2006), la digestibilidad del N (Figueroa *et al.*, 2002), así como su absorción y digestibilidad (g d^{-1}), la excreción urinaria (50%) y excreción total (40%); además, se da un cambio en su patrón de excreción fecal y urinaria. En el estudio de Shriver *et al.* (2003), la excreción de N fecal fue de 38% y 26% para las DBP y estándar, respectivamente, mientras que en la DBP el N urinario declinó 50% respecto al testigo. Orlando *et al.* (2005) hallaron que la eficiencia de utilización del N aumentó a medida que disminuyó la PC, y los cerdos alimentados con 15% de PC fueron 7.9% más eficientes que aquellos que consumieron 19% de PC; datos que concuerdan con Orlando *et al.* (2006).

Otro aminoácido que afecta la concentración de urea en plasma es treonina, pues al aumentarlo en una ración estándar para cerdos en crecimiento se observó una disminución en la concentración de NUP (López *et al.*, 2010).

Por otra parte, la excreción de N disminuyó (Le Bellego *et al.*, 2001, 2002), lo cual se reflejó en menor cantidad de urea en orina en los animales que consumieron dietas suplementadas con AA sintéticos respecto a los que consumieron las dietas estándar, aunque

ambas dietas contengan el mismo nivel de los cuatro primeros AA limitantes, y una menor retención de N en las primeras (Figuroa *et al.*, 2002); por su parte, Zangeronimo *et al.* (2007), al reducir 2% la PC en la dieta de cerdos en iniciación, disminuyó en 20% la excreción de nitrógeno en orina, pero en heces no hallaron efecto del nivel de PC sobre la excreción de N.

2.2.2. Comportamiento productivo

Trujillo-Coutiño *et al.* (2007), en lechones en iniciación (machos castrados con 12.35 ± 0.204 kg peso inicial) variando el porcentaje de PC y EM (Mcal Kg⁻¹), encontraron que en cerdos en iniciación es posible mantener un comportamiento productivo aceptable si se reduce la PC más de 6% (de 20.69 a 14.38%) y alrededor de 100 Kcal kg⁻¹ 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 los lechones de tres semanas de edad alimentados con dieta trigo-pasta de soya con 18.4% PC presentaron 19.9% más consumo diario de alimento (CDA) que los que consumieron 20.3% PC, y tuvieron la mejor conversión alimenticia (CA) al compararlos con los que consumieron la dieta testigo, por lo que es posible reducir la PC en este tipo de dietas agregando lisina y treonina, sin alterar negativamente el comportamiento productivo de los lechones. Por otra parte, cerdos que recibieron una dieta a base de maíz-trigo-pasta de soya, disminuyeron tanto CA, 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). En otro estudio (Wahlstrom *et al.*, 1985) se alimentó a los cerdos con una dieta a base de maíz-pasta de girasol con 12% PC y 10% más de lisina que lo recomendado por NRC (1979), y mejoraron GDP y CA de los cerdos al adicionar triptófano y treonina.

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); sin embargo, aumentaron al adicionarle valina más isoleucina a la dieta de 11% PC, aunque sin efecto sobre el músculo *longissimus* (Figuroa *et al.*, 2003). Sin embargo, Russell *et al.* (1987) encontraron que con 11% de PC y la

adición de lisina, treonina y triptófano, la dieta no resultó limitante en AA azufrados, pero sí en valina. Por su parte, Martínez-Aispuro *et al.* (2009), también al reducir la PC en dietas sorgo-pasta de soya, reportaron que disminuyó la GDP y la GCM, pero aumentó la CA, y para mantener los parámetros productivos observaron que 14.5% de PC fue el mejor nivel, y 11.5% el peor, ambos adicionados con AA sintéticos. De forma similar, De Oliveira *et al.* (2006) utilizaron cerdos con alto potencial para deposición de carne magra y observaron los mayores valores de GDP, CA y deposición de proteína en los animales alimentados con niveles de 12 a 16% de PC; mientras que Wahlstrom *et al.* (1985) con 12% de PC más lisina, metionina, treonina, triptófano e isoleucina observaron CDA, GDP y CA similares a las obtenidas con 16% de PC; y Shriver *et al.* (2003) y Orlando *et al.* (2005), quienes además de los AA usados por Wahlstrom *et al.* (1985) adicionaron valina a la dieta con 14 y 15% de PC, respectivamente, no observaron efecto sobre el comportamiento productivo, en comparación con 18 y 19% de PC.

En cerdos en finalización alimentados con dietas sorgo-pasta de soya, la reducción de 14 a 12.5%, o de 17.3 a 12.1% de PC, más AA sintéticos, no afectó el comportamiento productivo (Figuroa *et al.*, 2008; Orlando *et al.*, 2005, respectivamente), ni las características de la canal (Figuroa-Velasco *et al.*, 2004); por el contrario, con 11% PC y AA cristalinos incrementó la conversión alimenticia; pero no se afectó ni CDA ni GDP (Figuroa *et al.*, 2008), área del músculo *Longissimus dorsi* (AML) y porcentaje de carne magra (%CM; Martínez-Aispuro *et al.*, 2009). Lo anterior concuerda con los resultados de Myer *et al.* (1996), quienes emplearon dietas a base de trigo o triticale adicionadas con lisina y treonina y sugirieron que se podía disminuir o posiblemente eliminar la pasta de soya como fuente de proteína sin afectar la respuesta productiva ni la calidad de la canal de los animales. Finalmente, Guay y Trottier (2006) hallaron que GDP, EA, peso y contenido de PC del músculo *longissimus* disminuyeron conforme lo hizo la PC en la dieta de 16.1% a 7.8%. Por otro lado, el comportamiento productivo no se vio limitado con 12% de PC con la adición de AA sintéticos (De Oliveira *et al.*, 2006), pero en cerdos en finalización se redujo al disminuir la proteína cruda y la energía metabolizable de las dietas (Figuroa-Velasco *et al.*, 2004).

Las dietas con baja proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos y con menor concentración de EM, suministradas a cerdos en crecimiento y finalización, redujeron la grasa dorsal en machos castrados; y en hembras, la respuesta productiva. Las hembras fueron más susceptibles a la menor concentración de ambos nutrientes, pero los machos tuvieron una mejor

calidad de la canal (ganancia de carne magra y AML; Figueroa-Velasco *et al.*, 2004). Por otro lado, Le Bellego *et al.* (2002) vieron que disminuyendo la PC en 4% no afectó el crecimiento con la adición de isoleucina y valina, pero con un alto nivel de energía neta (EN) observaron mayor deposición de grasa. Por otra parte, Figueroa *et al.* (2002) mencionan que con el uso de DBP (11% PC) y la adición de lisina, treonina, metionina y triptófano, existe la posibilidad de que otros nutrimentos o AA se vuelvan limitantes o colimitantes. Finalmente, Figueroa *et al.* (2003) hallaron que el quinto AA limitante en dietas con base en maíz-pasta de soya es valina, y el sexto está entre isoleucina e histidina. Por su parte, Opapeju *et al.* (2008) mostraron resultados no concluyentes acerca de que isoleucina pueda limitar el comportamiento productivo de los cerdos en iniciación alimentados con DBP adicionadas con AA sintéticos.

2.2.3. Concentración de aminoácidos en plasma

La concentración plasmática de los AA adicionados en la dieta aumentó a medida que incrementó la adición de los AA cristalinos en las dietas con baja PC, a excepción del triptófano, sobre el cual no se observó efecto, y disminuyó la concentración de los no agregados (Figueroa *et al.*, 2002, 2003), principalmente isoleucina, histidina, arginina, fenilalanina, tirosina, leucina y valina (Figueroa *et al.*, 2002; Guay y Trottier, 2006); sin embargo, en los AA no esenciales la respuesta fue poco consistente, ya que no se observó efecto sobre glutamina (Figueroa *et al.*, 2002), pero aumentaron alanina, glicina (Figueroa *et al.*, 2002; Guay y Trottier, 2006), ácido glutámico y serina (Figueroa *et al.*, 2002), mientras que disminuyeron asparagina (Guay y Trottier, 2006), ácido aspártico, citrulina y ornitina (Figueroa *et al.*, 2002).

Además, se encontró interacción entre aminoácidos con el uso de AA específicos, pues al suplementar valina a las dietas con baja proteína disminuyó la concentración plasmática de treonina, y con la incorporación de isoleucina disminuyó leucina (Figueroa *et al.*, 2003).

2.2.4. Calidad de la canal

La reducción de la PC repercutió en un pobre crecimiento del AML de cerdos en crecimiento y finalización alimentados con dietas maíz o sorgo-pasta de soya (Figueroa *et al.*, 2002, 2003, 2008), hallándose la menor área del músculo con dietas que tuvieron 11% PC (Figueroa *et al.*, 2003). Por otra parte, la grasa dorsal (GD) incrementa al adicionar histidina más

valina a la dieta con 11% PC (Figuerola *et al.*, 2003); también Shriver *et al.* (2003), con 14% de PC y con la incorporación de AA sintéticos vieron un aumento en GD, pero no encontraron diferencias en ganancia de carne magra (GCM) ni AML. En otro estudio, Orlando *et al.* (2005), con baja concentración de PC en la dieta se redujo la deposición de proteína en la canal, y no se alteró al disminuir de 17.3% a 12.1% la PC con la adecuada adición de AA cristalinos (Orlando *et al.*, 2006), similar a lo observado por Le Bellego *et al.* (2002) con dietas maíz-trigo-pasta de soya.

2.3. Concentración de lisina en las dietas

Las principales fuentes de lisina sintética utilizadas en la alimentación de cerdos son: el sulfato de lisina (L-lisina·SO₄), y L-lisina·HCl grado alimenticio. Se considera que esta última fuente de lisina tiene 100% de valor biológico, mientras que el valor biológico relativo del sulfato de lisina se ha observado entre 97 y 99% con respecto al de la otra fuente para GDP y EA, respectivamente. En cerdos en crecimiento alimentados con maíz-pasta de cacahuate aumentó la GDP y la EA de la fuente suministrada (Smiricky-Tjardes *et al.*, 2004); y resultados similares obtuvieron Ahmad *et al.* (2007) sobre las variables GDP, EA, y variables de la canal en pollos de engorda.

No obstante, la cantidad de lisina en la dieta para cerdos en crecimiento es diferente, en función de la variable de interés, pues según López *et al.* (2010), va de 0.75 a 0.99% de lisina digestible para CDA, GDP, CA y peso final; y el consumo de lisina no se ve influenciado por la disminución de PC en la dieta (Orlando *et al.*, 2005); de ahí que Zangeronimo *et al.* (2007) encontraran la mejor respuesta productiva en cerdos en iniciación alimentados con una dieta de 16 o 18% de PC y formulada con 1.04% de lisina digestible.

Respecto al N ingerido, éste aumentó de forma lineal conforme incrementó el porcentaje de lisina en la dieta con 16 y 18% de PC, pero el N excretado no se afectó por el nivel de lisina (Zangeronimo *et al.*, 2007). Sin embargo, el NUP a los 21 d de la fase de crecimiento fue aumentando conforme incrementaba la concentración de lisina/Mcal EM, y tendió a disminuir con el aumento en la densidad energética de la dieta (Smith *et al.* (1999a).

En relación con la calidad de la canal, López *et al.* (2010) no encontraron diferencias en ganancia de carne magra (GCM), AML y porcentaje de carne magra final (%CMF), entre niveles desde 0.67 a 0.99% de lisina digestible en dietas con proteína estándar.

2.4. Relación lisina-energía

Los cerdos de 10 a 25 kg alimentados con dietas con 3.38 Mcal EM/kg y menos de 4.35 g de lisina/Mcal EM aumentaron su EA, así como el consumo de lisina total y digestible (Smith *et al.*, 1999a); por otra parte, al aumentar la densidad energética de la dieta disminuyó el CDA e incrementó la EA durante la etapa de crecimiento, mientras que en finalización la GDP disminuyó, a excepción de cuando los cerdos durante el crecimiento se alimentaron con bajos niveles de energía (Smith *et al.*, 1999b), o de la relación lisina:EM (Smith *et al.*, 1999b; Main *et al.*, 2008).

Smith *et al.* (1999b) no encontraron efecto de la densidad energética ni de la relación lisina:EM sobre la profundidad de la grasa dorsal, profundidad del lomo ni rendimiento de la canal; por su parte, Main *et al.* (2008) tampoco vieron efecto sobre el rendimiento de la canal, aunque sí aumentó la profundidad del lomo, el porcentaje de carne magra y la grasa dorsal al aumentar la relación lisina:EM al final de la engorda. Por otro lado, la grasa dorsal aumentó en los cerdos alimentados con 3.51 Mcal EM/kg independientemente del nivel de lisina en la dieta (Smith *et al.*, 1999a).

El efecto de la densidad energética y de la concentración de lisina/Mcal EM sobre la GDP ha sido variable durante la engorda del cerdo (Smith *et al.* 1999a,b); no se halló interacción en la tercera semana de iniciación, pero entre los 29 y 72 kg de peso vivo (PV) mejoró la GDP al aumentar ambos factores; lo que no se observó en cerdos entre los 72 y 90 kg de PV. El óptimo para GDP y EA durante los últimos 21 d de la engorda fue 2.25 g lisina/Mcal EM y cuando se aumentó la relación lisina:EM fue mejor la respuesta con lisina intacta (proveniente de la pasta de soya) que con lisina cristalina (Smith *et al.*, 1999b). En otro estudio (Main *et al.*, 2008) con cerdos de 32 a 55 kg de PV con 3.30 g lisina/Mcal EM, y entre 55 y 77 kg PV con 2.75 g lisina/Mcal EM, se mejoraron la GDP y la EA.

2.5. Probióticos

Los probióticos son microorganismos vivos adicionados al alimento que tienen efecto benéfico sobre el hospedero, porque mejoran el balance microbiano intestinal debido a que tienen la capacidad de metabolizar nutrientes para producir sustancias que impiden la proliferación de microorganismos patógenos (moléculas de antibiótico y ácidos grasos volátiles), compiten por sitios de adhesión en la mucosa intestinal (Huang *et al.*, 2003) y podrían tener efecto sobre la permeabilidad intestinal incrementando la absorción de nutrientes y favoreciendo el crecimiento (Jacela *et al.*, 2010).

2.6. Prebióticos

Los prebióticos son constituyentes no digeribles que se encuentran naturalmente en muchos alimentos (Huang *et al.*, 2003); afectan positiva y selectivamente el crecimiento de microorganismos colónicos (lactobacilos o bifidobacterias; Cummins, 2004), sirviéndoles como fuente de carbono para su metabolismo, mientras que en el hospedero propician una mejor salud intestinal (Huang *et al.*, 2003; Cummins, 2004).

Todos los prebióticos hasta ahora descritos son conocidos como oligosacáridos, con un grado de polimerización de dos a diez unidades. Dentro de los más destacados se hallan: fructo-oligosacáridos, galacto-oligosacáridos, isomalto-oligosacáridos y xilo-oligosacáridos (Cummins, 2004), inulina, y lactulosa (Huang *et al.*, 2003).

2.7. Glúcidos

Los glúcidos son las biomoléculas más abundantes en la naturaleza obtenidas a través de la fotosíntesis a partir de CO₂, H₂O y energía solar. Estas moléculas tienen diversas funciones, entre ellas, destacan como: componentes estructurales, precursores de otras biomoléculas en numerosas rutas metabólicas, fuentes de energía de rápida disposición celular y son importantes en el reconocimiento celular (Nelson y Cox, 2001; Mckee y Mckee, 2003).

Los glúcidos pueden clasificarse en monosacáridos, oligosacáridos o polisacáridos. Los monosacáridos o azúcares simples forman dos familias: las aldosas (polihidroxialdehídos) y las cetosas (polihidroxicetonas), cuyos miembros más simples son el gliceraldehído y la dihidroxiacetona, respectivamente (Nelson y Cox, 2001; Mckee y Mckee, 2003).

Los oligosacáridos son cadenas de 2 a 20 monosacáridos, y pueden constituirse por moléculas iguales o distintas. Los más abundantes son los disacáridos como la sacarosa (glucosa-fructosa). La mayor parte de los oligosacáridos se hallan formando estructuras conjugadas con proteínas o lípidos (Nelson y Cox, 2001). En el caso de las glicoproteínas y glucolípidos, tienen funciones de reconocimiento en la membrana celular (Matsuzaki, 2001) debido a que porciones oligosacáridas forman sitios de reconocimiento altamente específicos y afines a otras proteínas (lectinas) fijadoras de glúcidos, como es el caso de las selectinas (una familia de lectinas) de la membrana plasmática, que intervienen en el movimiento de las células del sistema inmune (linfocitos T) de la sangre a los sitios de infección a través de los capilares mediante la interacción de integrina y P-selectina con sus respectivos ligandos de glucoproteína en el linfocito (Nelson y Cox, 2001).

Los polisacáridos contienen más de 20 unidades de monosacáridos en estructura lineal como la celulosa o ramificada como el glucógeno; por otra parte, pueden hallarse constituidos por una secuencia de la misma unidad monomérica a través de enlaces α o β (homopolisacáridos: celulosa, almidón, glucógeno, quitina) o formados por diferentes unidades monoméricas (heteropolisacáridos: hemicelulosa, mucílagos, gomas exudadas, glucosaminoglucanos). En los polisacáridos predomina la D-glucosa, D-manosa, D-fructosa, D y L-galactosa, D-xilosa y D-arabinosa; y si se trata de homopolisacáridos constituidos por estas unidades se denominan glucanos, mananos, fructanos, galactanos, xilanos y arabinanos, respectivamente (Nelson y Cox, 2001).

2.7.1. Manano-oligosacáridos

Estos compuestos se encuentran como constituyentes de paredes celulares de plantas superiores, bacterias, mohos y levaduras (Nelson y Cox, 2001). La levadura *Saccharomyces cerevisiae* deshidratada se ha utilizado en varios estudios como fuente de manano-oligosacáridos, y el efecto ha sido variable sobre el crecimiento, población microbiana y salud intestinal en el cerdo, en función de la etapa fisiológica y aún dentro de la misma (Davis *et al.*, 2002; White *et al.*, 2002; LeMieux *et al.*, 2003).

2.7.2. Efecto de los oligosacáridos sobre la flora intestinal

La microbiota intestinal posee propiedades anti-infectivas y actúa como estimulante del desarrollo del sistema inmune postnatal (Boehm *et al.*, 2004a; Koletzko, 2004). Se sabe que la colonización intestinal con bifidobacterias y lactobacilos puede inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos a través de la producción principalmente de ácido láctico y ácido acético, entre otros, debido a la disminución del pH intraluminal (Agostoni *et al.*, 2004), el cual está fuertemente influenciado por la concentración de metabolitos de la flora intestinal (Fanaro *et al.*, 2005).

El destete es una etapa crucial para el establecimiento de buenos hábitos alimenticios y de una flora colónica adecuada (Fanaro *et al.*, 2009). En el tracto gastrointestinal existe una gran variedad de microorganismos benéficos y otros potencialmente dañinos; mientras la salud y un óptimo crecimiento y desarrollo dependen del delicado balance entre estas dos poblaciones (Jacela *et al.*, 2010).

La administración de prebióticos o probióticos puede modificar favorablemente la flora intestinal (Vanderhoof, 2008). La microbiota colónica, por su baja diversidad, no es capaz de fermentar el almidón resistente, lo cual empieza a cambiar después del destete, pues al adicionarlo a la dieta de adultos trae beneficios para su salud; en cambio, la lactulosa es fermentada completamente dentro de todos los grupos de edad (Sheiwiller *et al.*, 2006).

En el caso de humanos lactantes, se ha visto que los oligosacáridos provenientes de la leche materna, al no ser digeridos por las enzimas gastrointestinales, sirven como sustrato a nivel de colon (Govers *et al.*, 2005; Scholtens *et al.*, 2006), actuando como prebióticos al estimular el crecimiento de bifidobacterias (Agostoni *et al.*, 2004; Scholtens *et al.*, 2006) y lactobacilos (Koletzko, 2004). Por otra parte, según Fanaro *et al.* (2005), los oligosacáridos ácidos provenientes de la hidrólisis de las pectinas no incidieron sobre la flora intestinal a pesar de ser bien tolerados en las fórmulas lácteas para humanos; sin embargo, al mezclarlos con oligosacáridos neutros (fructo-oligosacáridos de cadena larga y galacto-oligosacáridos) aumentaron la concentración de bifidobacterias (Boehm *et al.*, 2004b) y lactobacilos en las heces de los infantes tratados (Haarman *et al.*, 2005b), así como el pH de las mismas. De igual manera, al usar galacto-oligosacáridos (5 g/L) durante el destete, observaron influencia positiva sobre bifidobacterias y sobre la consistencia fecal en los individuos que recibieron el tratamiento (Fanaro *et al.*, 2009). Sin embargo, Bakker-Zierikzee *et al.* (2005), utilizando solamente galacto-

oligosacáridos (0.6 g/100 ml), no observaron diferencias en la colonización de bifidobacterias ni en la acidez o el perfil de ácidos grasos volátiles en bebés amamantados, comparado con la mezcla de fructo-oligosacáridos y galacto-oligosacáridos; tampoco observaron diferencias en la población de lactobacilos en comparación con la adición de *Bifidobacterium animalis* (Haarman *et al.*, 2005b).

En contraste, con la sola mezcla de fructo- y galacto-oligosacáridos, el porcentaje fecal de bifidobacterias aumentó (Boehm *et al.*, 2004b; Fuentes *et al.*, 2005; Scholtens *et al.*, 2006); disminuyó el pH fecal y mejoró la consistencia de las heces de forma similar a lo observado en infantes amamantados (Fuentes *et al.*, 2005): Se observó que estos compuestos son selectivos para ciertas especies de lactobacilos (Haarman *et al.*, 2005a, b). Por otra parte, Underwood *et al.* (2009), con una mezcla de lactobacilos, bifidobacterias y fructo-oligosacáridos, observaron mayor colonización intestinal con bifidobacterias, aunque sin efecto sobre otros grupos microbianos ni sobre la concentración de ácidos grasos volátiles; mientras que Euler *et al.* (2005) sólo observaron diferencias dentro de los primeros 7 d de utilización de 1.5 g/L de fructo-oligosacáridos respecto a los infantes que recibieron en su fórmula 3 g/L o aquellos que fueron amamantados; y Brunser *et al.* (2005) sólo encontraron un incremento significativo en bifidobacterias al día 7 y sin cambios posteriores, con la utilización de una mezcla de inulina y oligofruktosa (4.5 g/L), aún con el uso de antibiótico.

En otro estudio con infantes humanos de 6 a 24 meses de edad, Waligora-Dupriet *et al.* (2005) observaron un aumento en bifidobacterias después de tres semanas de consumir oligofruktosa en la dieta. Adicionalmente, Indrio *et al.* (2009) hallaron que los probióticos pueden modular la actividad eléctrica (peristaltismo eficiente), el vaciado gástrico, mejorar la tolerancia intestinal a la alimentación enteral en infantes pretérmino, y prevenir la enterocolitis necrotizante; y finalmente, una menor duración de la diarrea provocada por rotavirus en infantes al suministrarles *Lactobacillus rhamnosus* como probiótico (Szymański *et al.*, 2005). Por su parte, Rinne *et al.* (2005) no reportan diferencias sobre la cantidad, calidad y diversidad microbiana entre las heces de sujetos tratados con *Lactobacillus* y aquellos que recibieron alimentación convencional entre los 6 y 24 meses de edad; resultados similares se observaron al utilizar *Lactobacillus reuteri* sobre la colonización de bifidobacterias, y con *Clostridium difficile* al ser utilizado desde el nacimiento hasta los 12 meses de edad y con el uso de antibióticos (Abrahamsson *et al.*, 2005).

El crecimiento no parece ser influenciado por la inclusión de probiótico (Fanaro *et al.*, 2009; Indrio *et al.*, 2009; Underwood *et al.*, 2009) o prebiótico en la dieta de lactantes humanos (Underwood *et al.*, 2009), situación que podría presentarse también en cerdos.

2.7.3. Efecto de los oligosacáridos en el cerdo

Dentro de los factores antinutricionales en la mayoría de las leguminosas, como la pasta de soya, se encuentran los azúcares rafinosa, estaquiosa, y verbascosa, que pueden reducir entre 1.1 y 7.4% la digestibilidad de la materia seca, AA y nitrógeno de la dieta, lo cual puede minimizarse con la adición de la enzima α -galactosidasa, al menos para mejorar la digestibilidad de valina, tirosina y rafinosa en cerdos en crecimiento (Smiricky *et al.*, 2002).

Los xilo-oligosacáridos parecen tener un potencial efecto benéfico sobre la población de lactobacilos en el intestino del lechón alimentado artificialmente, pero no sobre bifidobacterias, y producen un ambiente intestinal muy parecido al observado en lechones amamantados (Moura *et al.*, 2007). Por otra parte, se encontró mayor concentración de lactobacilos en heces de lechones que consumieron 3% de levadura de cervecería deshidratada con 5.2% de manano-oligosacáridos, y disminuyó la población de bifidobacterias cuando además se adicionó 2% de ácido cítrico (White *et al.*, 2002); así como el conteo de enterobacterias con 0.2% de manano-oligosacáridos (Castillo *et al.*, 2008) y de coliformes totales en el intestino del lechón (White *et al.* 2002).

Sin embargo, no se encontró efecto sobre la proliferación de linfocitos (Davis *et al.*, 2002), ni sobre la composición celular de la sangre, la altura de las vellosidades, la profundidad de las criptas intestinales, la composición microbiana (Van der Peet-Schwering *et al.*, 2007), el pH y los ácidos grasos de cadena corta de la digesta, la concentración de inmunoglobulinas en suero (Castillo *et al.*, 2008); aunque puede afectar la función inmune en respuesta al estrés postdestete elevando los linfocitos y disminuyendo los neutrófilos (Davis *et al.*, 2004).

Se encontró buen desempeño productivo durante las fases de crecimiento y finalización del cerdo al sustituir el antibiótico como promotor de crecimiento por el probiótico *Saccharomyces cerevisiae* o por el prebiótico manano-oligosacárido (Chiquieri *et al.*, 2006). Por otra parte, Van der Peet-Schwering *et al.* (2007) sugieren al cultivo de levaduras como una alternativa a los antimicrobianos promotores de crecimiento, los mananos fosforilados derivados

de las paredes celulares de *Saccharomyces cerevisiae* (Davis *et al.*, 2004) o una mezcla de manano-oligosacáridos con aceites esenciales (Lipinski *et al.*, 2010). Se observó una mejora en la respuesta productiva después de 7 d postdestete (LeMieux *et al.*, 2003) cuando se incluyeron manano-oligosacáridos y antibiótico a la dieta sin agregar Zn. También se ha reportado un aumento en la GDP (Davis *et al.*, 2002, 2004), en el CDA y la EA (Davis *et al.*, 2002) durante los primeros diez días post-destete con el consumo de dieta con oligosacáridos con el nivel basal de Cu. Estos carbohidratos pueden afectar positiva (LeMieux *et al.*, 2003; Rozeboom *et al.*, 2005) o negativamente (White *et al.* 2002) la GDP y el CDA, y pueden mejorar la EA (Davis *et al.*, 2004), solos (LeMieux *et al.*, 2003; Rozeboom *et al.*, 2005; Van der Peet-Schwering *et al.*, 2007; Castillo *et al.*, 2008) o combinados con tilosina y sulfametazina (Rozeboom *et al.*, 2005), o con Zn (Castillo *et al.*, 2008) o bien no tener efecto sobre esta variable (White *et al.* 2002).

Finalmente, Lipinski *et al.* (2010) señalan que con la combinación de oligosacáridos y aceites esenciales se mejora la respuesta productiva de lechones destetados y se reduce el porcentaje de mortalidad, en comparación con aquellos animales que consumieron la dieta testigo. La pasta de soya con 3.5% de rafinosa y 11.5% de estaquiosa no causó diarrea durante la fase de crecimiento (Smiricky *et al.*, 2002).

Es importante el análisis en los productos comerciales para cuantificar los microorganismos presentes e incluir en la dieta la cantidad adecuada (Underwood *et al.*, 2009). De la misma forma, no asumir la no digestibilidad de los oligosacáridos no digestibles, porque se han hallado digestibilidades (ileales aparentes) desde 62.2 a 91.2 % para rafinosa y desde 84 a 97% para estaquiosa en cerdos en crecimiento (Smiricky *et al.*, 2002).

2.8. Nucleótidos

Los nucleótidos son compuestos intracelulares presentes en todos los alimentos de origen animal y vegetal en forma libre o como ácidos nucleicos (Lee *et al.*, 2007). Están formados por una base nitrogenada (purina o pirimidina), una pentosa (ribosa o desoxiribosa) y uno o más grupos fosfato (McKee y McKee, 2003). Una molécula sin el grupo fosfato se denomina nucleósido (Nelson y Cox, 2001). Las purinas comunes en la naturaleza son: adenina, guanina, xantina e hipoxantina, mientras que las pirimidinas son: timina, citocina y uracilo (McKee y McKee, 2003). El ácido desoxiribonucleico (ADN) y el ácido ribonucleico (ARN) están

constituidos por dos purinas (adenina y guanina) y dos pirimidinas (citocina y timina para el ADN; citocina y uracilo para el ARN; Nelson y Cox, 2001).

Los nucleótidos están involucrados en diversos procesos bioquímicos (Lee *et al.*, 2007), entre otros (Uauy *et al.*, 1990; Rueda *et al.*, 2002; Arnaud *et al.*, 2003) como monómeros de ácidos nucleicos (ADN y ARN), en la transferencia de energía química (ATP, GTP, UTP, CTP), en vías fotosintéticas, como reguladores biológicos (AMP y GMP cíclicos) y como componentes de coenzimas (Coenzima A, NAD⁺, FAD, S-adenosilmetionina; Nelson y Cox, 2001) en la síntesis de lípidos, carbohidratos y proteínas (Uauy *et al.*, 1990; Nelson y Cox, 2001; McKee y McKee, 2003).

2.8.1. Biosíntesis de nucleótidos

Las dos vías metabólicas para la síntesis de estas biomoléculas son la *de novo* y la de recuperación o salvamento. La síntesis *de novo* consiste en la formación de nucleótidos a partir de AA, ribosa 5-fosfato, CO₂ y NH₃; así que no se utilizan bases libres (Nelson y Cox, 2001).

2.8.2. Síntesis *de novo* de nucleótidos púricos

Los principales nucleótidos son: adenosina, citidina, guanosina e inosina (‘5 monofosfato; AMP, CMP, GMP e IMP, respectivamente; Mateo *et al.*, 2004).

El metabolismo de los nucleótidos (Figura 1) indica que, primero, la ribosa 5-fosfato derivada de la ruta de las pentosas fosfato más ATP, se transforma en 5-fosforribosil-1-pirofosfato (PRPP) catalizado por la enzima ribosa fosfato pirofosfoquinasa (PRPP sintetasa, (1)). Posteriormente, con un grupo amino de la glutamina y la acción de la glutamina-PRPP amidotransferasa (2), se forma la molécula inestable de 5-fosforibosilamina, sobre cuya estructura se forma el anillo de purina, y después de 10 pasos metabólicos se obtiene el inosinato (IMP). A partir de este primer intermediario púrico se forman por una parte adenilato (AMP) y por otra xantilato (XMP) y guanilato (GMP).

Cabe señalar que el IMP, AMP y GMP regulan alostéricamente la acción de (1) y (2); y adicionalmente AMP regula la acción de adenilosuccinato sintetasa (3) que cataliza la reacción de IMP a adenilosuccinato; mientras que GMP actúa alostéricamente sobre IMP deshidrogenasa

(5) que cataliza la transformación de IMP a XMP, que es el precursor inmediato de GMP mediante la catálisis de XMP-glutamina aminotransferasa (6) y la utilización de glutamina.

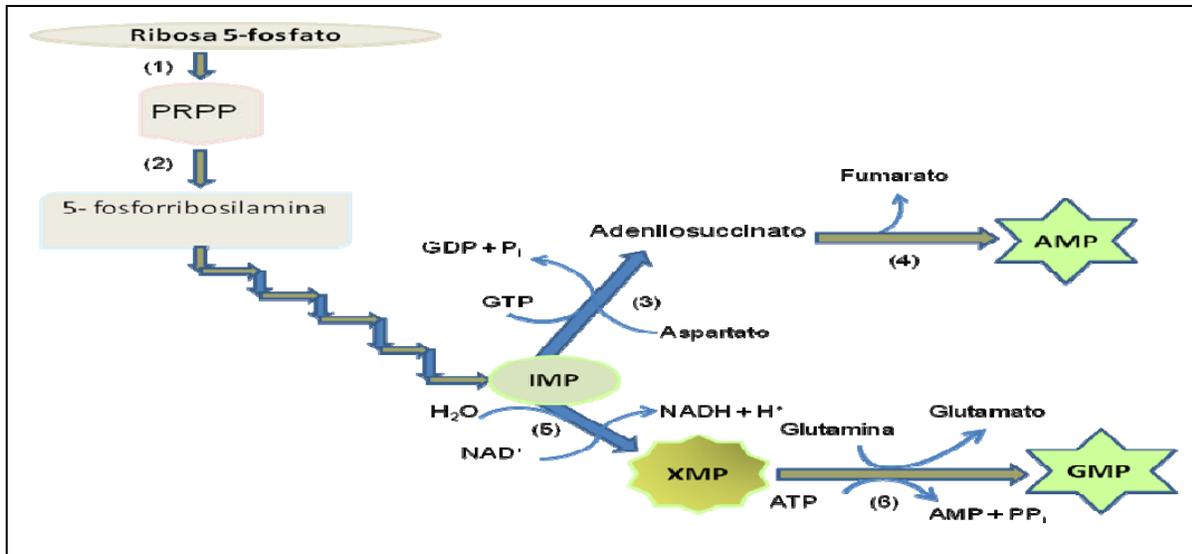


Figura 1. Síntesis *de novo* de nucleótidos púricos
Adaptado de Nelson y Cox (2001).

2.8.3. Síntesis *de novo* de nucleótidos pirimídicos

La formación de uridilato monofosfato (UMP) y citidina 5'-trifosfato (CTP) inician de la siguiente manera (Figura 2): primero reacciona el ión NH_4^+ con el HCO_3^- y el ATP y generan carbamilsulfato con la intervención de carbamilsulfato sintetasa II (1). Posteriormente, el aspartato y el carbamilsulfato, mediante la acción de cinco enzimas (Aspartato transcarbamilasa (2), dihidroorotasa (3), dihidroorotato deshidrogenasa (4), orotato fosforribosiltransferasa (5), y orotidilato descarboxilasa (6)), en 5 etapas, producen UMP, quien se convierte a uridina 5'-trifosfato (UTP) mediante la acción de quinasas (7); y finalmente, la citidilato sintetasa (8) cataliza UTP a CTP.

Para la síntesis del timidilato (dTMP) se considera lo siguiente: si los nucleósidos difosfato (NDP) se convierten en nucleósidos trifosfato (NTP) por la enzima nucleósido difosfato quinasa (1), y el ATP es responsable de la formación de otros nucleósidos difosfato con la intervención de la enzima nucleósido monofosfato quinasa (2), entonces es posible obtener mediante estas reacciones, productos (Figura 3) para la síntesis posterior de otros nucleótidos como el timidilato.

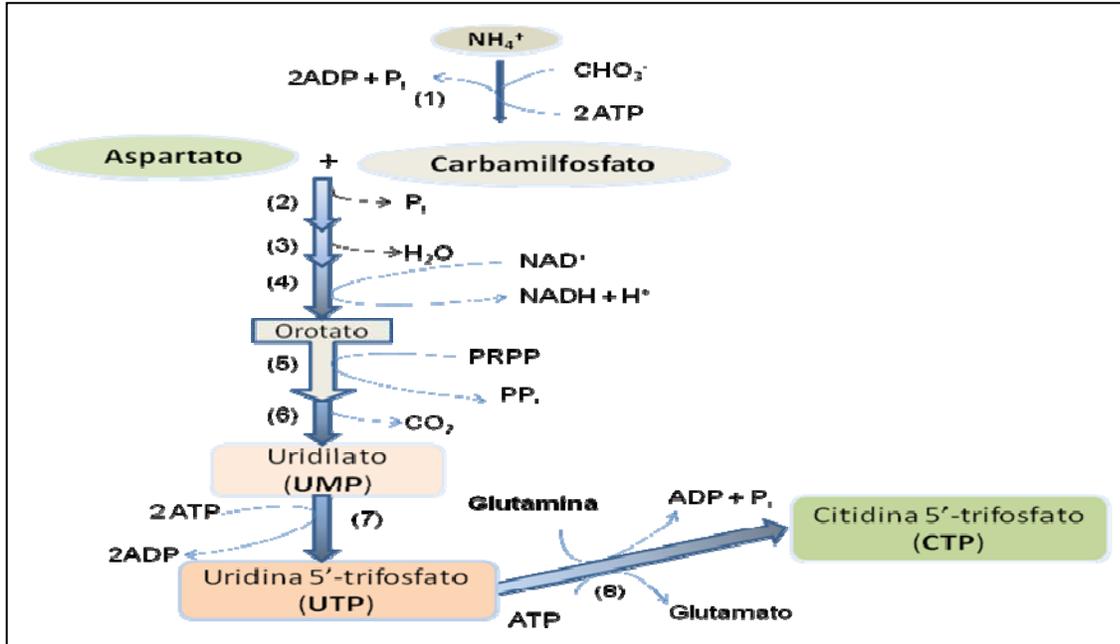


Figura 2. Síntesis *de novo* de nucleótidos pirimídicos.
Adaptado de Nelson y Cox (2001).

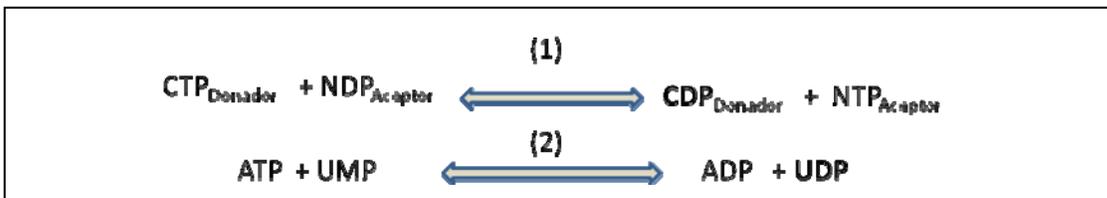


Figura 3. Fosforilación y desfosforilación de nucleótidos.
Adaptado de Nelson y Cox (2001).

En virtud de lo anterior, los nucleósidos difosfato CDP y UDP (Figura 4) serán reducidos en el carbono 2 de la D-ribosa por medio de la ribonucleótido reductasa (3), para formar 2'-desoxicitidina difosfato (dCDP) y 2'-desoxiuridina difosfato (dUDP) respectivamente; en seguida, el dCDP es convertido a dCTP por la nucleósido difosfato quinasa (4), mientras que el dUDP se vuelve dUTP con la misma enzima. El dCTP después, por la acción de una desaminasa (5) se convierte también en dUTP. Éste pasa a dUMP por la dUTPasa (6), que es el precursor inmediato del dTMP a través de la acción de la timidilato sintasa (7).

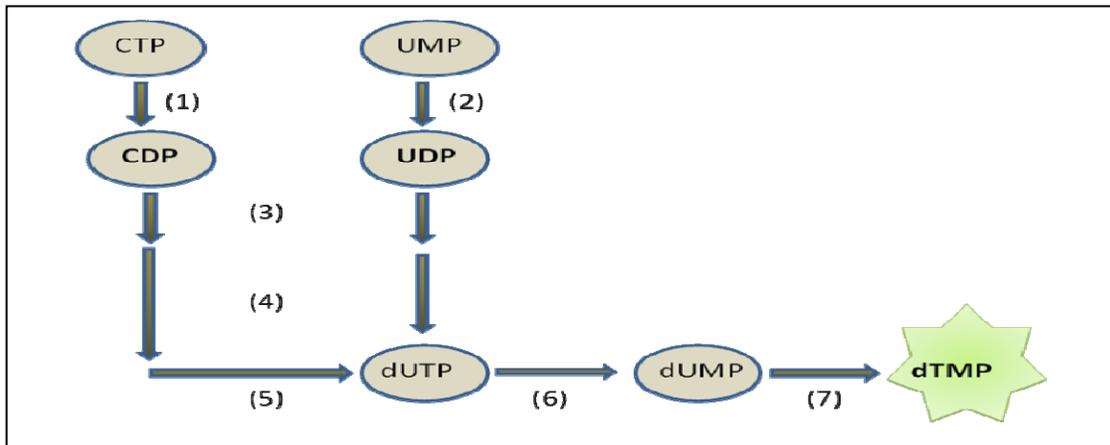


Figura 4. Síntesis del timidilato.
Adaptado de Nelson y Cox (2001).

2.8.4. Degradación de purinas

Tanto el GMP como el AMP (Figura 5) pierden el grupo fosfato por la acción de 5'-nucleotidasa (1), convirtiéndose en guanosina y adenosina, respectivamente. En seguida la adenosina es transformada a inosina por acción de la adenosina desaminasa (2) y después a hipoxantina por la nucleosidasa (3), mientras que guanosina forma guanina. Posteriormente la hipoxantina, por medio de xantina oxidasa (4), y guanina a través de guanina desaminasa (5), son metabolizadas a xantina, sobre la cual actuará la enzima xantina oxidasa (6) para formar ácido úrico, que será eliminado del organismo.

2.8.5. Digestión y absorción de ácidos nucleicos

Los nucleótidos incluidos en las nucleoproteínas del alimento se utilizan por el organismo después de la digestión de dicho alimento. Las nucleoproteínas se desnaturalizan en el estómago bajo la acción del HCl, y la pepsina comienza su hidrólisis. En el intestino delgado continúa el proceso debido a la acción de las proteasas pancreáticas (tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasas y elastasas) sobre los ácidos nucleicos.

Las nucleasas pancreáticas inducen la formación de oligonucleótidos; después, las fosfodiesterasas actúan sobre ellos y se forman mononucleótidos. Luego los grupos fosfato son eliminados de los mononucleótidos mediante las nucleotidasas (como la fosfatasa alcalina). Finalmente, las nucleosidasas dejan libres a las pentosas y a los nucleósidos para ser absorbidos por los enterocitos y utilizados en las vías de recuperación de purinas y pirimidinas.

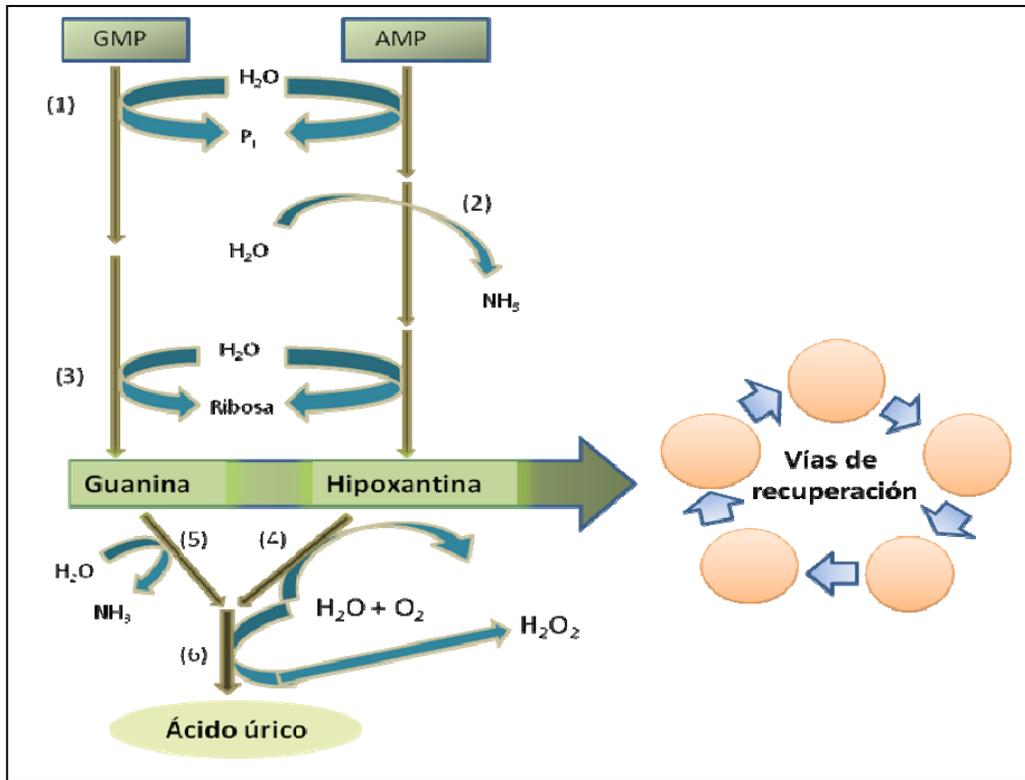


Figura 5. Degradación de purinas.
Adaptado de Nelson y Cox (2001).

2.8.6. Digestión de nucleótidos en el cerdo

En un experimento *in vitro* realizado por Rueda *et al.* (2002), utilizando 50, 100, 250 y 500 mg/L de ARN de hígado de becerro sometidos a 0, 0.5, 1, 2, 3 y 6 horas de incubación con explantes de yeyuno, se demostró que el intestino delgado (yeyuno) del lechón es capaz de hidrolizar eficientemente el ARN en sus ribonucleósidos, y observaron que la cantidad de citidina fue mayor a la de uridina a partir de las dos horas de incubación a excepción de la concentración más baja de ARN; inosina incrementó conforme transcurría el tiempo de incubación a todas las concentraciones de ARN; adenosina sólo aumentó hasta las dos primeras horas y luego disminuyó, pero aumentó conforme lo hizo el ARN en el medio; finalmente, las concentraciones de guanosina fueron proporcionales al tiempo de incubación y concentración del sustrato.

2.8.7. Vías de recuperación o salvamento de nucleótidos

Las vías de recuperación se basan en el reciclaje de bases libres y de los nucleósidos liberados de la degradación de ácidos nucleicos. Las células como linfocitos y enterocitos poseen baja capacidad para la formación de nucleótidos a través de la síntesis *de novo* (Manzano *et al.*, 2003; Uauy *et al.*, 1990), de ahí que utilizan bases púricas y pirimídicas preformadas (Uauy *et al.*, 1990) para mantener las funciones biológicas de los enterocitos o transportarse a la circulación portal (Rueda *et al.*, 2002).

Una vía es catalizada por la enzima adenosina fosforribosiltransferasa (1), donde la adenina libre reacciona con el PRPP para formar AMP (Figura 6); o bien, la hipoxantina (adenina libre de P, NH₃, y ribosa) se recupera mediante la acción de hipoxantina fosforribosiltransferasa (2). La guanina se vuelve GMP por la misma vía catalizada por la guanina fosforribosiltransferasa (3).

Posiblemente para la recuperación de pirimidinas exista una vía de fosforilación parecida.

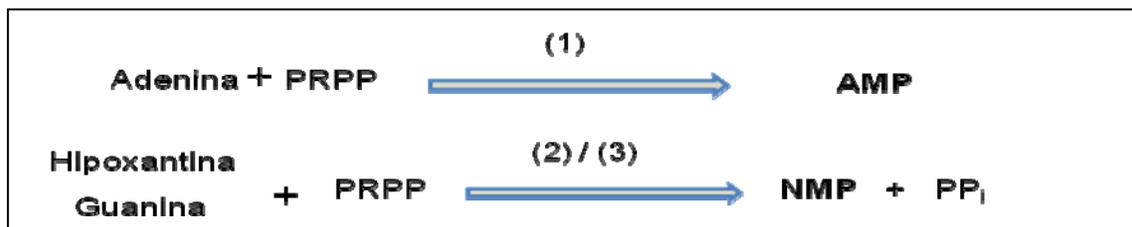


Figura 6. Vías de recuperación de nucleótidos.

Adaptado de Nelson y Cox (2001).

2.8.8. Efecto de los nucleótidos en el organismo

Los nucleótidos pueden ser esenciales cuando el aporte endógeno es inadecuado porque se excede la capacidad de síntesis *de novo* o la vía endógena de salvamento, convirtiéndose en nutrientes condicionalmente esenciales (Uauy *et al.*, 1990; Yu, 2002), lo cual puede ocurrir en situaciones de bajo consumo de alimento, enfermedad, bajo peso al nacimiento, nacimiento prematuro, enterocolitis necrótica (Carver, 1999; Yu, 2002), anomalías congénitas en el metabolismo de purinas (Yu, 2002), durante el destete (Uauy *et al.*, 1990), como moduladores de la microbiota intestinal (Andrés-Elías *et al.*, 2007), o en etapas de rápido crecimiento, y es entonces cuando el suministro a través de la dieta puede complementar adecuadamente la síntesis *de novo* y con ello activar rápidamente el metabolismo en la proliferación tisular de sistemas

como el gastrointestinal y el inmune o como mediadores biológicos intra e intercelulares (Carver, 1999), por lo que pueden considerarse estimulantes del crecimiento, de la maduración y del desarrollo de los sistemas anteriormente mencionados en los neonatos (Yu, 2002).

Los nucleótidos pueden tener influencia sobre los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, que son importantes constituyentes de la membrana celular y precursores de prostaglandinas, tromboxanos y otros eicosanoides (DeLucchi *et al.*, 1987); pueden aumentar la velocidad del flujo sanguíneo en la arteria mesentérica superior, la cual irriga todo el intestino delgado y la porción derecha del colon en infantes humanos a término (Carver *et al.*, 2004). Aunque pueden no afectar el hematocrito ni la concentración de hemoglobina (Hb) en ratas durante 16 d de lactancia, se les atribuyó provocar un mayor suministro de oxígeno periférico y aumentar la afinidad de la hemoglobina por éste al no observarse una disminución en 2,3-DPG/Hb (Scopesi *et al.*, 1999).

2.8.8.1. Metabolismo lipídico

Se ha observado que los nucleótidos consumidos en la dieta modifican la fracción lipídica en plasma, pues los triglicéridos fueron mayores en niños pretérmino alimentados con fórmula adicionada con nucleótidos o leche materna que en aquellos sin esta adición (Alexxon *et al.*, 1997); mientras que el colesterol total fue mayor en infantes que consumieron leche humana. Así mismo, Scopesi *et al.* (1999) observaron un incremento del 2,3- difosfoglicerato en eritrocitos de ratas amamantadas o suplementadas con nucleótidos. Por otro lado, DeLucchi *et al.* (1987) observaron que la inclusión de nucleótidos a través de la leche materna o adicionados a fórmulas infantiles incrementaron la cantidad de los ácidos grasos poliinsaturados (20:4 ω 6 y 22:4 ω 6) derivados del ácido linoléico y del ácido α -linolénico (22:6 ω 3) en la fosfatidiletanolamina de la membrana celular de eritrocitos en neonatos humanos, mientras que la esfingomielina estuvo en mayor cantidad en los alimentados con leche humana respecto a aquellos que recibieron fórmulas con y sin nucleótidos. Por otra parte, el ácido linoléico se halló en mayor cantidad en fosfatidilcolina en neonatos que consumieron fórmulas lácteas, respecto a aquellos que consumieron leche materna. El mayor contenido de ácido esteárico se observó en fosfatidiletanolamina y fosfatidilcolina de membranas celulares de eritrocitos en neonatos que

recibieron fórmulas suplementadas con nucleótidos, mientras que el ácido palmítico aumentó en fosfatidiletanolamina en membranas celulares de niños alimentados con fórmula sin nucleótidos.

Los infantes que recibieron fórmulas sin nucleótidos tuvieron menos $\omega 3$ y $\omega 6$ (> 18 C) en los fosfolípidos de sus membranas celulares que los alimentados con leche humana y fórmula suplementada con nucleótidos (DeLucchi *et al.*, 1987); en contraste, en otro estudio no se encontraron diferencias entre fórmulas o leche humana y fórmula suplementada, pero detectaron concentraciones superiores de ácido linoléico (C 18:2 $\omega 6$) en los infantes pretérmino alimentados con fórmulas con y sin nucleótidos comparados con aquellos que consumieron leche humana (Alexxon *et al.*, 1997).

2.8.8.2. Sistema gastrointestinal

Los nucleótidos modulan el desarrollo del tracto digestivo (Uauy *et al.*, 1990; Yu, 2002) al elevar la profundidad de criptas (Yu *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2007), la proteína y el ADN mucosal (Uauy *et al.*, 1990), el peso intestinal, la pepsina gástrica, la actividad de la fosfatasa alcalina en íleon y al disminuir la aminopeptidasa N, la actividad enzimática de sucrasa o maltasa, así como también la proteína en bilis, aunque no afectan la actividad enzimática del yeyuno (Lee *et al.*, 2007). Se ha visto que los nucleótidos también tienen efecto sobre la secreción enzimática de ATPasa, citrato sintetasa y malato deshidrogenasa a nivel de íleon, impactando positivamente la estructura y función mitocondrial después de sufrir diarrea crónica postdestete (Arnaud *et al.*, 2003).

2.8.8.3. Sistema inmune

Los nucleótidos del alimento tienen efecto sobre la maduración y diferenciación de los linfocitos intestinales, pues Manzano *et al.* (2003) observaron una disminución del porcentaje de células T, atribuible a la disminución de la subpoblación de TCR $\alpha\beta$ ⁺ en las placas de Peyer; en el epitelio, aumentaron los porcentajes de células T y TCR $\alpha\beta$ ⁺ y disminuyó el de TCR $\gamma\delta$ ⁺; mientras que en la lámina propia aumentó el porcentaje de CD4⁺ debido principalmente a la subpoblación TCR $\alpha\beta$, y hubo gran expresión de linfocitos CD5 que expresan a las células B-1, precursoras de gran número de células productoras de IgA e IgM. Todos esos cambios se

presentaron en ratones durante 18 días postdestete, en cuyas dietas se adicionaron adenosina monofosfato, citocina monofosfato, guanosina monofosfato y uridina monofosfato. También Lee *et al.* (2007) adicionaron nucleótidos (0.1%) a dietas para lechones en iniciación y observaron que su actividad inmunomoduladora elevó la concentración plasmática y biliar de IgA e IgM, aunque no provocaron cambios en la proliferación del tejido linfoide intestinal ni sobre las células sanguíneas mononucleares periféricas, y sólo al combinarlos con ácidos orgánicos (0.6%) aumentó la proliferación en las placas de Peyer y en los nódulos linfáticos mesentéricos. En humanos pretérmino también ha aumentado la concentración de IgA y disminuyó la probabilidad de presentar diarrea con 72 mg/L de nucleótidos, pero no se observó incremento en la respuesta a la vacunación contra hepatitis B, mientras que se halló un incremento en el riesgo de presentar infecciones del tracto respiratorio superior (Tsou Yau *et al.*, 2003).

Por otra parte, se ha visto efecto significativo sobre las concentraciones de IgG en lechones destetados a quienes, después de 8 semanas de tratamiento alimenticio con nucleótidos y glutamina, se les aplicó una inyección de un serotipo de *E. coli* para simular un ataque por esta bacteria (Yu *et al.*, 2002).

2.8.9. Fuentes de nucleótidos para la alimentación animal

El ARN es una fuente de nucleósidos libres y potencialmente disponibles (Rueda *et al.*, 2002); sin embargo, la leche y el calostro son de las primeras fuentes de nucleótidos para los recién nacidos, aunque la concentración de los mismos es variable. En el caso del calostro y la leche de la cerda, el uridín monofosfato representa alrededor del 98% y 88%, respectivamente, de nucleósidos, seguido por guanina, adenina, citidina e inosina (monofosfato), los cuales aumentan durante la primera semana de lactancia, disminuyen en la segunda y se mantienen constantes durante la tercera (Mateo *et al.*, 2004).

2.8.10. Comportamiento productivo del cerdo

Los nucleótidos parecen no tener efecto sobre el comportamiento productivo de cerdos (Andrés-Elías *et al.*, 2007); es decir, sobre la ganancia diaria de peso, el consumo de alimento, y la conversión alimenticia de lechones en iniciación (Lee, *et al.*, 2007), ni en crecimiento al adicionar 0.125% de nucleótidos (Saldaña *et al.*, 2009) a la dieta. Asimismo, en cerdos en

finalización alimentados con una dieta baja en proteína con base en sorgo-pasta de soya y suplementada con nucleótidos (0.75%) no se afectaron ni las variables productivas ni las características de la canal (Rivera *et al.*, 2010); y lo mismo ocurrió en ratas neonatas suplementadas con nucleótidos (Scopesi *et al.*, 1999), mientras que en infantes pretérmino alimentados con leche materna enriquecida con proteína aislada de leche humana, fórmula láctea pretérmino o fórmula láctea pretérmino con nucleótidos no se hallaron diferencias en el peso final (Alexxon *et al.*, 1997).

Por otra parte, Yu *et al.* (2002) encontraron que mezclando nucleótidos (500 o 1000 ppm) con glutamina sintética (1 o 1.5%) en dietas para cerdos en iniciación, la combinación 1000:1 presentó mejor consumo diario de alimento y ganancia diaria de peso entre la cuarta y la octava semana de tratamiento, mientras que el peor comportamiento productivo lo presentó la combinación 500:1.5, de ahí que, según este estudio, una adición superior de glutamina no favorece el comportamiento productivo, pero sí lo hace un nivel superior de nucleótidos.

III. JUSTIFICACIÓN

Es conocido que el uso de dietas bajas en proteína adicionadas con AA sintéticos puede disminuir la producción y excreción de compuestos nitrogenados, y optimizar el aprovechamiento de los nutrientes al mantener la respuesta productiva y calidad de la canal en los cerdos. Esta herramienta, aunada al uso de aditivos como los manano-oligosacáridos que propician la salud intestinal mediante el estímulo a la proliferación de microorganismos benéficos; o los nucleótidos, que se vuelven condicionalmente esenciales en etapas tan críticas como el destete, y que son utilizados para el mantenimiento y la renovación del epitelio intestinal, pueden ser alternativas al uso de antibióticos en la etapa de iniciación del cerdo.

Por lo anterior es relevante mencionar que la producción animal moderna requiere de la investigación para generar prácticas pecuarias encaminadas a obtener resultados óptimos en salud animal, desempeño productivo, calidad de la canal, menor emisión de contaminantes al ambiente y ofrecer alimentos saludables a un costo accesible al consumidor.

IV. OBJETIVOS

4.1. Experimento 1

Evaluar el efecto del nivel de proteína cruda y de manano-oligosacáridos en dietas con base en sorgo-pasta de soya, sobre la respuesta productiva, y características de la canal de cerdos en iniciación.

Determinar la cantidad óptima de inclusión de manano-oligosacáridos en dietas con proteína estándar (recomendada por NRC, 1998) y con baja proteína para cerdos en iniciación.

4.2. Experimento 2

Evaluar el efecto del nivel de proteína cruda y de nucleótidos en dietas con base en sorgo-pasta de soya estándar (recomendada por NRC, 1998) y con baja proteína, sobre la respuesta productiva, las características de la canal, y concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación.

Determinar la cantidad óptima de inclusión de nucleótidos en dietas con proteína estándar (recomendada por NRC, 1998) y con baja proteína para cerdos en iniciación.

V. HIPÓTESIS

5.1. Experimento 1

La inclusión de manano-oligosacáridos (oligomananos) mejora las variables productivas y las características de la canal en cerdos en iniciación alimentados con dietas con base en sorgo-pasta de soya con proteína estándar y con baja proteína.

5.2. Experimento 2

La inclusión de nucleótidos mejora las variables productivas y las características de la canal, y reduce aun más la concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación alimentados con dietas con base en sorgo-pasta de soya con proteína estándar y con baja proteína.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados en Tecámac, Estado de México, en los meses de octubre y febrero. La granja se ubica entre los 19° 56' de latitud norte y los 98° 56' de longitud oeste, a una altitud de 2260 msnm. El clima de la región es seco semiárido con régimen de lluvias en verano, con temperatura media anual de 14.59 °C y precipitación anual de 549.88 mm (García, 1988).

6.1. Tratamientos

Se realizaron dos experimentos: en el primero se utilizaron 32 cerdos con peso promedio inicial de 13.52 ± 1.48 kg, en los que se evaluaron dos niveles de proteína cruda y cuatro niveles de manano-oligosacáridos (MOS) con cuatro repeticiones (Aaron y Hays, 2001) por tratamiento (Cuadro 1). En el segundo experimento se utilizaron 30 animales con peso vivo inicial de 18.12 ± 2.09 kg, en los que se evaluaron tres niveles de proteína cruda y dos niveles de nucleótidos con cinco repeticiones por tratamiento (Cuadro 1).

Las dietas (Cuadros 2 y 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 niveles de la dieta testigo (NRC, 1998) y con un aporte de $3.265 \text{ Mcal kg}^{-1}$ de EM. La formulación de las dietas se realizó con la función *Solver* de Excel (Microsoft, 1985-2001) y con el programa *Spartan* (Michigan State University, USA; 2000), para el experimento uno y dos respectivamente, con los cuales se obtuvieron las dietas para cubrir los requerimientos nutricionales en la etapa en estudio (NRC, 1998).

Cuadro 1. Tratamientos experimentales.

Experimento	Factor/Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
1	PC (%)	20.0	20.0	20.0	20.0	14.5	14.5	14.5	14.5
	MOS (%)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.0	0.1	0.2	0.3
2	PC (%)	20.5	20.5	18.5	18.5	16.5	16.5		
	Nucleótidos (%)	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.6		

MOS = Manano-oligosacáridos.

Cuadro 2. Dietas para cerdos en iniciación (10-20 kg.; Experimento 1).

Tratamiento/Ingrediente	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
Sorgo	63.658	63.741	63.607	63.473	77.760	77.829	77.690	77.541	
Pasta de soya	32.147	32.063	32.028	31.992	16.697	16.620	16.585	16.549	
Aceite de soya	1.401	1.400	1.467	1.535	1.646	1.647	1.717	1.786	
Carbonato de calcio	0.888	0.888	0.888	0.888	0.872	0.872	0.870	0.879	
Ortofosfato	1.180	1.180	1.181	1.182	1.436	1.438	1.441	1.445	
L-lisina HCl	0.000	0.000	0.000	0.000	0.552	0.555	0.557	0.558	
DL-metionina	0.013	0.014	0.014	0.015	0.076	0.077	0.077	0.077	
L-treonina	0.063	0.064	0.065	0.065	0.245	0.246	0.247	0.248	
L-triptófano	0.000	0.000	0.000	0.000	0.066	0.066	0.066	0.067	
Premezcla mineral ^ω	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	
Prem. de vitaminas ^κ	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	
Oxitetraciclina	0.100	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000	0.000	0.000	
Sal	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	
Oligomananos ^δ	0.000	0.100	0.200	0.300	0.000	0.100	0.200	0.300	
						100.00			
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	0	100.000	100.000	
Análisis calculado (%)									NRC ^π
Energía metabolizable									
Kg ⁻¹	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
PC	20.000	20.000	20.000	20.000	14.500	14.500	14.500	14.500	20.900
Calcio	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700
Fósforo total	0.612	0.612	0.611	0.611	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600
Fósforo disponible	0.320	0.320	0.320	0.320	0.345	0.345	0.345	0.346	0.320
Arginina	1.133	1.131	1.130	1.128	0.721	0.719	0.718	0.716	0.420
Histidina	0.430	0.430	0.429	0.428	0.299	0.298	0.297	0.297	0.320
Isoleucina	0.726	0.725	0.724	0.723	0.509	0.508	0.507	0.506	0.550
Leucina	1.586	1.584	1.582	1.580	1.289	1.287	1.285	1.282	1.020
Lisina	1.024	1.022	1.021	1.019	1.024	1.024	1.024	1.024	1.010
Metionina	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270
Metionina + cistina	0.515	0.514	0.514	0.513	0.389	0.388	0.388	0.387	0.580
Fenilalanina	0.848	0.847	0.846	0.845	0.618	0.617	0.616	0.614	0.610
Fenilalanina + tirosina	1.500	1.498	1.496	1.494	1.087	1.084	1.082	1.080	0.950
Treonina	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630	0.630
Triptófano	0.205	0.204	0.204	0.204	0.205	0.205	0.205	0.205	0.180
Valina	0.765	0.764	0.763	0.762	0.558	0.557	0.555	0.554	0.690

^κ Proporcionó por kg de alimento: vit. A 15,000 UI; vit. D3, 3000 UI; vit. E, 60 UI; vit. K, 6 mg; tiamina, 3 mg; riboflavina, 15 mg; niacina, 75 mg; piridoxina, 6 mg; cianocobalamina, 0.45 mg; biotina, 0.54 mg; colina, 675 mg; ácido pantoténico, 45 mg; ácido fólico, 9 mg.

^ω Aportó por kg de alimento: Fe, Zn, Mn (150 mg) Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

^π Recomendación de nutrimentos sugerida para la etapa de iniciación por el NRC (1998).

^δ Proteína de glucomananos proveniente de la pared celular de levaduras deshidratadas. Proteína cruda mínimo 28%.

Cuadro 3. Dietas para cerdos en iniciación (10-20 kg.; Experimento 2).

Tratamiento/Ingrediente	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Sorgo	62.515	61.81	68.640	67.530	74.615	73.670	
Pasta de soya	33.400	33.400	26.750	27.150	20.250	20.500	
Aceite de soya	1.375	1.580	1.465	1.675	1.550	1.750	
Fosfato dicálcico	1.100	1.100	1.175	1.175	1.225	1.225	
Carbonato de calcio	0.865	0.865	0.875	0.875	0.890	0.890	
L-lisina HCl	0.075	0.075	0.265	0.265	0.470	0.465	
DL-metionina	0.020	0.020	0.075	0.075	0.130	0.130	
L-treonina	0.000	0.000	0.075	0.075	0.160	0.160	
L-triptófano	0.000	0.000	0.030	0.030	0.060	0.060	
Sal	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	
Premezcla de vitaminas [Ⓝ]	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	
Premezcla mineral [Ⓞ]	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	
Nucleótidos [Ⓟ]	0.000	0.600	0.000	0.600	0.000	0.600	
Oxitetraciclina	0.100	--	0.100	--	0.100	--	
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	
Análisis calculado (%)							NRC [Ⓠ]
Energía metabolizable Mcal kg ⁻¹	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda	20.500	20.500	18.500	18.500	16.500	16.500	20.900
Calcio	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700
Fósforo total	0.600	0.580	0.580	0.580	0.560	0.560	0.600
Fósforo disponible	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320	0.320
Arginina	1.210	1.210	1.030	1.040	0.850	0.860	0.420
Histidina	0.470	0.470	0.410	0.410	0.360	0.360	0.320
Isoleucina	0.780	0.780	0.690	0.690	0.590	0.600	0.550
Leucina	1.690	1.680	1.550	1.560	1.420	1.420	1.020
Lisina	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010
Metionina + cistina	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580	0.580
Fenilalanina + tirosina	1.610	1.610	1.430	1.440	1.250	1.250	0.950
Treonina	0.650	0.650	0.650	0.650	0.650	0.650	0.630
Triptófano	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.230	0.180
Valina	0.840	0.840	0.750	0.750	0.660	0.660	0.690

[Ⓝ] Proporcionó por kg de alimento: vit. A 15,000 UI; vit. D3, 3000 UI; vit. E, 60 UI; vit. K, 6 mg; tiamina, 3 mg; riboflavina, 15 mg; niacina, 75 mg; piridoxina, 6 mg; cianocobalamina, 0.45 mg; biotina, 0.54 mg; colina, 675 mg; ácido pantoténico, 45 mg; ácido fólico, 9 mg.

[Ⓞ] Aportó por kg de alimento: Fe, Zn, Mn (150 mg) Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

[Ⓠ] Recomendación de nutrientes sugerida para la etapa de iniciación por el NRC (1998).

[Ⓟ] Extracto de levaduras. Proteína cruda mínimo 50%.

6.2. Variables evaluadas

En ambos experimentos se evaluó la respuesta productiva (ganancia diaria de peso, GDP; consumo diario de alimento, CDA; conversión alimenticia, CA; ganancia de carne magra, GCM), las características de la canal (área del músculo *longissimus*, AML; grasa dorsal, GD; porcentaje de carne magra en la canal, PCM); y la concentración de urea en plasma sólo en el Experimento 2.

6.3. Material experimental y manejo de los animales

Para ambos experimentos se utilizaron cerdos machos castrados, híbridos (Yorkshire×Duroc×Pietrain) en iniciación durante 21 días. Cada cerdo se alojó en un corral individual con piso de concreto de 1.2×1.5 m, equipado con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. Los animales se alimentaron *ad libitum* con alimento en harina y agua limpia y fresca. Durante toda la fase experimental se mantuvo la limpieza de los corrales e inspección sanitaria de los cerdos. Se verificó la presencia de diarreas o cualquier cambio en la salud de los lechones, en cuyo caso se registró el evento.

6.4. Procedimiento experimental

Semanalmente se midieron el cambio de peso y el consumo de alimento de los animales para estimar la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia; sin embargo, para el análisis estadístico se utilizó el promedio de todo el experimento. Para obtener la concentración de urea en plasma, se tomaron muestras de sangre el último día del experimento 2, mediante punción de la vena cava utilizando tubos *vacutainer* con heparina (BD Vacutainer, Franklin Lakes, NJ, 07417, USA). Las muestras se colocaron en hielo hasta ser centrifugadas (2500 rpm; 1286 g) por 25 min. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno y se almacenaron (-20 °C) hasta realizar las determinaciones de UREA.

La grasa dorsal y el área del músculo *longissimus* (a nivel de décima costilla) se midieron el primero y último día del experimento mediante ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 (Medison, Inc., Cypress, California, USA). Con estos datos y con el peso inicial y final del

experimento se estimaron la ganancia de carne magra y el porcentaje de carne magra con la ecuación del NPPC (1991).

6.5. Diseño y análisis estadístico

6.5.1. Experimento 1 (manano-oligosacáridos)

Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 2×4 , en donde el peso inicial fue el criterio para la formación de bloques. El factor A correspondió a la concentración de proteína en la dieta y el factor B al nivel de inclusión de manano-oligosacáridos. El modelo estadístico correspondiente es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + R_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable respuesta correspondiente a la i -ésima concentración de proteína y a la j -ésima concentración de manano-oligosacáridos dentro del k -ésimo bloque.

μ = media general

A_i = efecto de la proteína a la concentración i .

B_j = efecto de los manano-oligosacáridos a la concentración j .

$(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción de concentración i de proteína por la concentración j de manano-oligosacáridos.

R_k = efecto del k -ésimo bloque.

ε_{ijk} = error experimental. $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$

La variable PCMF se analizó con arco-seno por tratarse de valores en porcentaje, mientras que las variables CDA, CA, peso final (Pf) y GCM se analizaron con rangos, debido a que con ese procedimiento presentaron distribución normal y homogeneidad de varianza.

6.5.2. Experimento 2 (nucleótidos)

También se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 3×2 , en donde el factor A correspondió a la concentración de proteína cruda y el factor B al nivel de inclusión de los nucleótidos en la dieta. El peso inicial de los lechones se utilizó como criterio para la formación de los bloques.

Para el análisis de varianza se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{jk} + R_k + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable respuesta correspondiente a la i -ésima concentración de proteína y a la j -ésima concentración de nucleótidos dentro del k -ésimo bloque.

μ = media general

A_i = efecto de la proteína a la concentración i .

B_j = efecto de los nucleótidos a la concentración j .

$(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción de concentración i de proteína por la concentración j de nucleótidos.

R_k = efecto del k -ésimo bloque.

ε_{ijk} = error experimental. $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$.

Las variables PCMF y UREA se analizaron con rangos debido a que con ese procedimiento presentaron homogeneidad de varianza y distribución normal, respectivamente.

Los datos de ambos experimentos se analizaron mediante los procedimientos GLM, SORT, UNIVARIATE y RANK del programa SAS para el análisis de varianza, pruebas de normalidad (Bartlett), homogeneidad de varianzas (Shapiro-Wilk) y comparación de medias (Tukey), (SAS, 2009). Los datos se analizaron desglosando los efectos principales e interacciones del modelo, y posteriormente se analizaron para obtener el efecto de tratamiento (Steel *et al.*, 1997). Para determinar diferencias estadísticas significativas se utilizó el valor de $P \leq 0.05$; para estimar tendencias se utilizó el valor de $P \leq 0.1$.

Análisis de laboratorio

En el plasma se determinó la concentración de nitrógeno ureico por espectrofotometría de absorción de rayos UV (Espectrofotómetro Varian Cary 1E UV-vis, Varian, Australia), siguiendo la metodología de Chaney y Marbach (1962).

VII. RESULTADOS

7.1. Experimento 1 (manano-oligosacáridos)

Durante el desarrollo del experimento no se observó diarrea ni problemas respiratorios en los cerdos, por lo que no se presentan datos sobre este aspecto.

La concentración de PC o de MOS no tuvo efecto ($P>0.05$) sobre las variables productivas y no se encontró interacción entre factores, (Cuadro 4). Sin embargo, la GDP tendió ($P=0.09$) a disminuir con la reducción de PC en la dieta, al igual que el peso final (Pf; $P=0.06$); mientras que la CA tuvo una tendencia ($P=0.08$) a incrementar conforme disminuyó la PC en el alimento. Por otro lado, el CDA ($P=0.09$) y la CA ($P=0.07$) tendieron a aumentar conforme la concentración de MOS incrementó de 0.1 a 0.2%, para después disminuir, quedando en un valor inferior al observado en los cerdos alimentados con la dieta testigo (0.0% de MOS).

Respecto a las características de la canal (Cuadro 5), hubo una tendencia a disminuir la grasa dorsal final (GDF; $P=0.08$) conforme se redujo la PC en la dieta, mientras que en las demás variables evaluadas no se presentó efecto ($P>0.05$) de la concentración de PC, o de MOS ($P>0.05$), ni hubo interacción entre ambos factores ($P>0.05$).

7.2. Experimento 2 (nucleótidos)

Durante este experimento tampoco se registraron episodios de diarrea o enfermedad en los cerdos, por lo que no se presentan datos al respecto.

No se observaron efectos sobre las variables productivas (GDP, CDA y CA; Cuadro 6) por ninguno de los factores (PC o nucleótidos) evaluados ($P>0.05$); tampoco se detectó interacción ($P>0.05$) entre ellos. Sin embargo, la GCM fue 31 g superior ($P\leq 0.03$) en los cerdos que recibieron 0.6% de nucleótidos con respecto a los que no se les adicionó, independientemente de la concentración de PC en la dieta.

En relación con las características de la canal (Cuadro 7), tampoco se halló efecto ($P>0.05$) de los factores evaluados o de su interacción sobre la grasa dorsal (GDF); pero el AMLf aumentó ($P\leq 0.0008$) al adicionar 0.6% nucleótidos a la dieta; y se observó una interacción ($P\leq 0.047$) entre el nivel de PC utilizado y la concentración de nucleótidos a la dieta, siendo 199.33 cm² mayor el AMf en los cerdos alimentados con nucleótidos en comparación con los

cerdos que no los recibieron, y aumentando el AMLf a medida que se redujo la concentración de PC en la dieta ($P \leq 0.05$), con la mayor AMLf en cerdos alimentados con el nivel más bajo de proteína adicionado con nucleótidos ($P \leq 0.05$). Lo anterior también se reflejó en el PCMf, que fue mayor ($P \leq 0.001$) en cerdos alimentados con nucleótidos; y también se observó una interacción ($P \leq 0.026$) entre el nivel de PC y el de nucleótidos en la dieta, con mayor PCMf en cerdos alimentados con la concentración más baja de PC adicionada con nucleótidos ($P \leq 0.05$).

La concentración de UREA en plasma se redujo al disminuir la PC en la dieta ($P < 0.0001$), y se observó una tendencia ($P = 0.1$) a aumentar la concentración de UREA en los cerdos que consumieron las dietas con nucleótidos, especialmente en los que fueron alimentados con los niveles más bajos de PC, aunque no hubo interacción ($P > 0.05$) entre los factores en estudio.

VIII. DISCUSIÓN

8.1. Experimento 1 (manano-oligosacáridos)

Los resultados mostraron que la reducción de 5.5 puntos porcentuales (de 20 a 14.5%) de PC en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos con o sin manano-oligosacáridos para cerdos en iniciación no afectó negativamente las variables productivas, lo que coincide con los resultados obtenidos por Brudevold y Southern (1994) y Trujillo-Coutiño *et al.* (2007), pero difieren con lo encontrado por Wahlstrom *et al.* (1985) y Reynoso *et al.* (2004), quienes, observaron que la disminución de la PC en la dieta mejora al menos una variable productiva, sin embargo, se debe tener en cuenta que estos investigadores utilizaron diferentes ingredientes como fuentes de energía (trigo, Reynoso *et al.*, 2004; y maíz, Wahlstrom *et al.*, 1985) y de proteína (pasta de soya, Reynoso *et al.*, 2004; pasta de girasol, Wahlstrom *et al.*, 1985), así como distinta concentración de PC en las dietas, lo cual implica una diferente inclusión de AA. Por otra parte, Nyachoti *et al.* (2006) al reducir la PC de 23 a 17%, observaron una disminución en las variables productivas, posiblemente debido a un mayor desbalance en la relación entre aminoácidos; por mencionar algunos, utilizaron 0.61, 0.38, y 0.36% más lisina, treonina, y metionina, respectivamente, que en el presente experimento, y excedieron en 0.06% la recomendación (NRC, 1998) para valina, mientras que en nuestro caso se presentó una deficiencia de 0.14% de valina, metionina + cistina (0.07 y 0.20%, dieta estándar y DBP) y un exceso en fenilalanina + tirosina (0.45 y 0.05%, dieta estándar y DBP) respecto a la recomendación para esta etapa.

En el presente trabajo se observó tendencia a mejorar el CDA con 0.2% de MOS, mientras que con menor y mayor cantidad de aditivo la variable parece disminuir más que cuando no se incluyen MOS. En varias investigaciones la concentración de 0.2% de MOS ha resultado favorable para las variables productivas (Davis *et al.*, 2002; White *et al.*, 2002; Davis *et al.*, 2004) a pesar de tratarse de fuentes diferentes de MOS (Bio-mos, Davis *et al.*, 2002; LeMieux *et al.*, 2003; Castillo *et al.*, 2008; levadura deshidratada, White *et al.*, 2002; Davis *et al.*, 2004) o combinaciones con otros aditivos como aceites esenciales (Lipinski *et al.*, 2010) o antibióticos (LeMieux *et al.*, 2003). Lo anterior a pesar de que la inclusión de 0.4% de MOS se ha sugerido como benéfica para el estímulo del crecimiento y la disminución de la mortalidad de los cerdos destetados, sobre todo si se acompaña con aceites esenciales (Lipinski *et al.*, 2010). La

variabilidad en los resultados posiblemente se deba a la influencia ambiental o al estado sanitario real y de confort de los animales (Davis *et al.*, 2004), caso contrario a lo que ocurre en infantes humanos, en quienes no se ha encontrado efecto sobre el crecimiento (Fanaro *et al.*, 2009; Indrio *et al.*, 2009; Underwood *et al.*, 2009). Lo anterior no coincide con lo encontrado por White *et al.* (2002), quienes reportaron un pequeño efecto sobre el crecimiento utilizando 0.15% de MOS.

El mejor valor para CA se obtuvo con 0.1% de MOS y el peor con 0.2%, aunque no son estadísticamente diferentes, lo cual comprueba los hallazgos de White *et al.* (2002), quienes no detectaron efecto de los niveles utilizados de MOS sobre la conversión alimenticia.

Ninguna concentración de MOS o PC afectó las características de la canal. Sin embargo, la tendencia a disminuir la GD ($P=0.08$) con la reducción de PC en la dieta podría sugerir una adición adecuada de AA (Orlando *et al.*, 2006), lo que indujo un mejor balance de AA para síntesis de proteína y que por lo tanto, no se utilizaron como fuente de energía, obteniendo resultados similares para PCMF entre ambas concentraciones de PC (20.0 y 14.5%), y que tienen estrecha relación con la falta de efecto de la concentración de proteína sobre la deposición de este nutriente en la canal, observado por Le Bellego *et al.* (2002) y Orlando *et al.* (2006).

8.2. Experimento 2 (nucleótidos)

La falta de efecto sobre las variables productivas (GDP, CA y Pf) observado con todas las cantidades de proteína o nucleótidos utilizados en el presente trabajo; sugieren que reducir la PC o agregar los NUC en la dieta no causa efectos adversos ni mejora la respuesta de los cerdos en esta etapa. Esto refuerza reportes anteriores donde, al disminuir la PC en la dieta con la adecuada adición de AA, es posible mantener el comportamiento productivo (Brudevold y Southern, 1994; Reynoso *et al.*, 2004; Trujillo-Coutiño *et al.*, 2007). En relación con la inclusión de nucleótidos, los datos son consistentes con lo observado por otros investigadores al alimentar a cerdos (Andrés-Elías *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2007; Saldaña *et al.*, 2009), ratas (Scopesi *et al.*, 1999) o humanos (Alexxon *et al.*, 1997).

Por otra parte, se encontró que la cantidad de NUC en la dieta afecta positivamente la GCM, lo cual podría estar relacionado con un aporte adecuado de NUC para el recambio celular epitelial que se da posteriormente al destete (Uauy *et al.*, 1990), favoreciendo la adecuada digestión y absorción de nutrientes para ser depositados como proteína en músculo, como se

observó en el AMLf y PCMf de los animales que recibieron nucleótidos. Para estas variables también se encontró una interacción entre PC y NUC, y destacó como la mejor combinación 16.5% PC con 0.6% NUC para ambas variables. La concentración de PC por sí misma no tuvo efecto, pero sí la de NUC, sobre todo con la dieta más baja en PC utilizada en este experimento. Hasta el momento no es posible comparar con otros datos, pues no se hallaron trabajos similares.

La UREA en plasma disminuyó con la reducción de PC en la dieta, observándose mayor disminución cuando bajó de 20.5 a 18.5% PC, más que de 18.5 a 16.5%, (11.719 y 5.612 mg dL⁻¹, respectivamente), similar a lo observado por Nyachoti *et al.* (2006), y coincide con los datos obtenidos por otros investigadores que han trabajado con DBP (Wahlstrom *et al.*, 1985; Shriver *et al.*, 2003; Trujillo-Coutiño *et al.*, 2007) para cerdos en esta etapa de crecimiento.

IX. CONCLUSIONES

9.1. Experimento 1 (Manano-oligosacáridos)

Las dietas con 14.5% o con 20.0% de PC tuvieron el mismo efecto sobre las variables productivas y características de la canal en cerdos en iniciación. Por lo anterior, los resultados de la presente investigación sugieren que los cerdos en iniciación pueden alimentarse con dietas bajas en PC con base en sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos, con un aporte de hasta 6.4% menos de PC que la recomendada por el NRC (1998) sin afectar las variables productivas ni características de la canal.

No fue posible identificar la cantidad adecuada de manano-oligosacáridos para dietas estándar ni para DBP, sólo se observaron tendencias, por lo que es necesario realizar otras investigaciones que permitan hallar la cantidad óptima de este aditivo para cada tipo de dieta.

9.2. Experimento 2 (Nucleótidos)

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que pueden utilizarse dietas con base en sorgo-pasta de soya con 16.5% PC para cerdos en iniciación sin afectar las variables productivas ni las de calidad de la canal.

La adición de 0.6% de NUC a las dietas para cerdos en iniciación mostró mejorar la GCM, indistintamente de la concentración de PC en las dietas; asimismo, con la adición de 0.6% de NUC a dietas con base en sorgo-pasta de soya y 16.5 % PC, es posible mejorar el AMLf y el PCMf en cerdos en iniciación. Por lo anterior, los NUC parecen ser una herramienta útil para mejorar las variables AMLf y PCMf en DBP.

La reducción de cuatro puntos porcentuales de PC en las dieta para cerdos en iniciación con base en sorgo-pasta de soya, permite disminuir la concentración de UREA en plasma de manera altamente significativa (alrededor de 17 mg/dL).

X. LITERATURA CITADA

- Aaron, K. D., and V. W. Hays. 2001. Statistical techniques for the design and analysis of swine nutrition experiments. In: Swine Nutrition (Chapter 39). A. J. Lewis and L. L. Southern (editors). CRC Press, Washington, D.C. pp. 881-901.
- Abrahamsson, T., T. Jacobsson, G. Sinkiewicz, M. Fredriksson, and B. Björkstén. 2005. Intestinal microbiota in infants supplemented with the probiotic bacterium *Lactobacillus reuteri*. J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr. 40(5): 692 (Abstr.).
- Agostoni, C., I. Axelsson, O. Goulet, B. Koletzko, K. F. Michaelsen, J. W. L. Puntis, J. Rigo, R. Shamir, H. Szajewska, and D. Turck. 2004. Prebiotic oligosaccharides in dietetic products for infants: a commentary by the ESPGHAN Committee on Nutrition. J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr. 39: 465-473.
- Ahmad, G., T. Mushtaq, M. Aslam Mirza, and Z. Ahmed. 2007. Comparative bioefficacy of lysine from L-lysine hydrochloride or L-lysine sulfate in basal diets containing graded levels of canola meal for female broiler chickens. Poultry Science 86: 525-530.
- Alexxon, I., C. E. Flodmark, N. Räihä, M. Tacconi, M. Visentin, I. Minoli, G. Moro, and A. Warm. 1997. The influence of dietary nucleotides on erythrocyte membrane fatty acids and plasma lipids in preterm infants. Acta Paediatr. 86: 539-544.
- Andrés-Eliás, N., J. Pujols, I. Badiola, and D. Tarrallardona. 2007. Effect of nucleotides and carob pulp on gut health and performance of weanling piglets. Livestock Science 108: 280-283.
- AOAC. 1990. Official methods of Analysis (15th Ed.). Association of Analytical Chemists, Arlington, VA. pp. 37-38.
- Arnaud, A., López-Pedrosa, J. M., Torres, M. I., Gil, A. 2003. Dietary nucleotides modulate mitochondrial function of intestinal mucosa in weanling rats with chronic diarrhea. J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr. 37(2): 124-131.
- Bakker-Zierikzee, A. M., M. S. Alles, J. Knol, F. Kok, J. J. M. Tolboom, and J. G. Bindels. 2005. Prebiotic oligosaccharides in infant nutrition: addition of only galactooligosaccharides does not induce faecal acid pH and SCFA-spectrum typical for breast fed infants. J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr. 40(5): 693 (Abstr.).
- Boehm, G., B. Stahl, J. Jelinek, J. Garssen, R. van Tol, S. Fanaro, and V. Vigi. 2004b. A new mixture of neutral and acidic oligosaccharides and their immune-modulatory capabilities. J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr. 39(Suppl. 1): S555 (Abstr.).

- Boehm, G., J. Jelinek, J. Knol, L. M'Rabet, B. Stahl, P. Vos, and J. Garssen. 2004a. Prebiotics and immune responses. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 39: S772-S773.
- 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.
- Brunser, O., M. Gotteland, S. Cruchet, D. Garrido, G. Figueroa, and P. Steenhout. 2005. Effect of an infant formula with prebiotics on the intestinal microbiota after an antibiotic treatment. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 40(5): 691 (Abstr.).
- Carver, J. D. 1999. Dietary nucleotides: effects on the immune and gastrointestinal systems. *Acta Paediatr. Suppl.* 430: 83-88.
- Carver, J. D., R. Sosa, M. Saste, and M. Kuchan. 2004. Dietary nucleotides and intestinal blood flow velocity in term infants. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 39: 38-42.
- Castillo, M., S. M. Martín-Orúe, J. A. Taylor-Pickard, J.F. Pérez, and J. Gasa. 2008. Use of mannan-oligosaccharides and zinc chelate as growth promoters and diarrhea preventative in weaning pigs: effects on microbiota and gut function. *J. Anim. Sci.* 86: 94-101.
- Charney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Chiquieri, J. M. S., R. T. R. N. Soares, J. C. D. Souza, V. L. Hurtado Nery, R. A. Ferreira y B. G. Ventura. 2006. Probiótico y prebiótico en la alimentación de cerdos en crecimiento y terminación. *Arch. Zootec.* 55 (211): 305-308.
- Cummins, J. H. 2004. Prebiotics and the gut barrier to infection. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 39(Suppl.1): S555 (Abstr.).
- Davis, M. E., C. V. Maxwell, D. C. Brown, B. Z. de Rodas, Z. B. Johnson, E. B. Kegley, D. H. Hellwing, and R. A. Dvorak. 2002. Effect of dietary mannan oligosaccharides and (or) pharmacological additions of copper sulfate on growth performance and immunocompetence of weanling and growing/finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 2887-2894.
- Davis, M. E., C. V. Maxwell, G. F. Erf, D. C. Brown, and T. J. Wistuba. 2004. Dietary supplementation with phosphorylated mannans improves growth response and modulates immune function of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 1882-1891.

- De Oliveira, V., E. Tadeu F., J. A. de Freitas L., R. Tadeu F., R. Vicente S., e A. Gilberto B. 2006. Desempenho e composição corporal de suínos alimentados com rações com baixos teores de proteína bruta. *Pesq. Agropec. Bras.* 41: 1775-1780.
- DeLucchi, C., M. L. Pita, M. J. Faus, J. A. Molina, R. Uauy, and A. Gil. 1987. Effects of dietary nucleotides on the fatty acid composition of erythrocyte membrane lipids in term infants. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 6: 568-574.
- Dibner, J. J. and Richards J. D. 2005. Antibiotic growth promoters in agriculture: history and mode of action. *Poult. Sci.* 84: 634-643.
- Euler, A. R., M. D. Douglas K. Mitchel, M. D., Randi Kline, R. D., and Larry K. Pickering, M. D. 2005. Prebiotic effect of fructo-oligosaccharide supplemented term infant formula at two concentrations compared with unsupplemented formula and human milk. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 40: 157-164.
- Fanaro, S., B. Marten, R. Bagna, V. Vigi, C. Fabris, L. Peña-Quintana, F. Argüelles, K. E. Scholz-Ahrens, G. Sawatzki, R. Zelenka, J. Schrezenmeir, M. de Vrese, and E. Bertino. 2009. Galacto-oligosaccharides are bifidogenic and safe at weaning: a double-blind randomized multicenter study. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 48: 82-88.
- Fanaro, S., J. Jelinek, B. Stahl, G. Boehm, R. Kock and V. Vigi. 2005. Acidic oligosaccharides from pectin hydrolysate as new component for infant formulae: effect on intestinal flora, stool characteristics, and pH. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 41(2): 186-190.
- 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, V. J. L., M. Martínez, J. E. Trujillo, V. Zamora, J. L. Cordero, 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.
- Figuroa-Velasco J. L., Cervantes-Ramírez M., J. M. Cuca-García, M. Méndez-López 2004. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia*, 38: 383 – 394.

- Figuroa-Velasco, J. L., E. E. Chi-Moreno, M. Cervantes-Ramírez, I. A. Domínguez-Vara. 2006. Alimentos funcionales para cerdos al destete. *Vet. Méx.* 37 (1): 117-136.
- Fuentes, D., L. A. Fuentes, C. López, L. Suárez, H. Escobar. 2005. Clinical effect of a probiotic-supplemented formula in healthy infants during the first six months of life. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 40(5): 660 (Abstr.).
- Fuller, M. F., R. McWilliams, T. C. Wang, and R. L. Giles. 1989. The optimum dietary amino acids pattern for pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue accretion. *Br. J. Nutr.* 61: 253-267.
- Gallois, M., Rothkötter, H. J., M. Bailey, C. R. Stokes and I. P. Oswald. 2009. Natural alternatives to in-feed antibiotics in pig production: can immunomodulators play a role? *Animal.* 3(12):1644-1661.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). 4ª ed. México, D. F. 217 p.
- Gibson, P. R., Anderson, R. P., J. M. Mariadason, and A. J. Wilson. 1996. Protective role of the epithelium of the small intestine and colon. *Inflamm. Bowel Dis.* 2:279-302.
- Govers M., A. Bucu, T. Hendrich, B. Stahl, and G. Boehm. 2005. Comparison of human milk oligosaccharides for use in infant nutrition and in vitro fermentation using faeces from breast-fed and formula-fed infants. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 40(5): 694 (Abstr.).
- Guay, F., and N. L. Trottier. 2006. Muscle growth and plasma concentrations of amino acids, insulin-like growth factor-I, and insulin in growing pigs fed reduced-protein diets. *J. Anim. Sci.* 84: 3010-3019.
- Haarman, M., A. Bakker-Zierikzee, M. Alles, J. Bindels, and J. Knol. 2005b. The effects of infant formulas containing either prebiotics or probiotics on the faecal lactobacillus population. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 40(5): 694 (Abstr.).
- Haarman, M., J. Wells, G. Boehm, and J. Knol. 2005a. Quantitative real time PCR of fecal lactobacillus species in infants receiving a prebiotic infant formula. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 40(5): 693 (Abstr.).
- Huang, Y., X. M. Shao, and J. Neu. 2003. Immunonutrients and neonates. *Eur. J. Pediatr.* 162: 122-128.
- Indrio, F., G. Riezzo, F. Raimondi, R. Francavilla, O. Montagna, M. L. Valenzano, L. Cavallo, and G. Boehm. 2009. Probiotics improve gastric motility and gastric electrical activity in preterm newborns. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 49: 258-261.

- Jacela, J. Y., J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, R. D., Goodband, J. L. Nelssen, D. G. Renter, S. S. Dritz. 2010. Feed additives for swine: fact sheets-prebiotics and probiotics, and phytogenics. *J. Swine Health Prod.* 18(3): 132-136.
- Koletzko, B. M. D. 2004. Breast milk components that may influence immunity. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 39(Suppl.1): S554 (Abstr.).
- 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.
- 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.
- Lee, D. N., S. R. Liu, Y. T. Chen., R. C. Wang, S. Y. Lin and C. F. Weng. 2007. Effects of diets supplemented with organic acids and nucleotides on growth, immune responses and digestive tract development in weaned pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 91(11-12): 508-518.
- LeMieux, F.M., L. L. Southern, and T. D. Bidner. 2003. Effect of mannan-oligosaccharides on growth performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 2482-2487.
- Lipinski, K., J. Tywoczuk, C. Purwin, S. Petkevicius, P. Matusевичius, and B. Pysera. 2010. Effect of dietary mannan-oligosaccharides and essential oils on growth performance of piglets. *Vet. Med. Zoot.* 50(72):54-58.
- 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. *Arch. Zootec.* 59: 205-216.
- Main, R. G., S. S. Dritz, M. D. Tokach, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, and J. M. DeRouchey. 2008. Effects of feeding growing pigs less or more than their estimated lysine requirement in early and late finishing on overall performance. *The Professional Animal Scientist* 24: 76-87.
- Manzano, M., A. C. Abadía-Molina, E. García-Olivares, A. Gil, and R. Rueda. 2003. Dietary nucleotides accelerate changes in intestinal lymphocyte maturation in weanling mice. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 37: 453-461.
- Manzano, M., Gil, A., R. Rueda. 2004. New insights in the potential mechanism of action of nucleotides to modulate immunity. *J. Pediatr. Nutr.* 39(Suppl. 1):S515-S516.

- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres and L. Reyna-Santamaría. 2009. Growth performance and plasma urea concentration of growing pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets. *Vet. Méx.* 40 (1): 27-38.
- Mateo, C. D., D. N. Peters, and H. H. Stein. 2004. Nucleotides in sow colostrums and milk at different stages of lactation. *J. Anim. Sci.* 82: 1339-1342.
- Matsuzaki, K. 2001. Why and who are peptide-lipid interactions utilized for host defense? *Biophysical Journal* 80(1):1.
- McKee, T., and J. R. McKee. 2003. *Biochemistry: the molecular basis of life.* 3^a ed. McGraw-Hill. New York, U. S. A.
- Microsoft Excel 2007. Microsoft Corporation. 1985-2001. USA. Redmond. WA, USA.
- Moura, P., S. Marques, L. Alves, J. P. B. Freire, L.F. Cunha, and M. P. Esteves. 2007. Effect of xilooligosaccharides from corn cobs autohidrolisis on the intestinal microbiota of piglets after weaning. *Livest. Sci.* 108: 244-248.
- Myer, R. O., J. H. Brendemuhl, and R. D. Barne. 1996. Crystalline lysine and threonine supplementation of soft red winter wheat or triticale, low-protein diets for growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 74:577-583.
- Nelson L. D. y M. M. Cox. 2001. *Lehninger principios de Bioquímica.* 3^o ed. Ediciones Omega. Barcelona, España.
- NPPC. 1991. Procedures to evaluate market hogs. National Pork Producers Council. Des Moines, IA. 16 p.
- NRC (National Research Council). 1979. *Nutrient Requirements of Domestic Animals. No. 2. Nutrient Requirements of Swine.* 8th ed. National Academy of Sciences. Washington, D. C. USA.
- NRC (National Research Council). 1998. *Nutrient requirements of swine.* 10th ed. National Academy Press. Washington, D. C. USA. 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.

- Opapeju, F. O., Rademacher, M., G. Blank and C. M. Nyachoti. 2008. Effect of low-protein amino acid-supplemented diets on the growth performance, gut morphology, organ weights and digesta characteristics of weaned pigs. *Animal*. 2:10 pp. 1457-1464.
- Orlando, D. U. A., R. F. M. Oliveira de, J. L. Donzele, A. S. Ferreira, F. C. O. Silva, R. A. R. Generoso, R. G. M. Vieira Vaz, e J. Costa de Siqueira. 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.
- Orlando, D. U. A., R. F. M. Oliveira de, J. L. Donzele, R. A. Ferreira, F. C. O. Silva, R. G. M. Vieira Vaz, e J. Costa de Siqueira. 2006. Níveis de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para leitões mantidas em ambiente termoneutro dos 60 aos 100 kg¹. *Rev. Bras. Zoot.* 35: 478-484.
- Rong, Q., Utevskaia, O., M. Ramilo, D. C. Chow, and J. G. Forte. Nucleotide metabolism by gastric glands and H-K-ATPase-enriched membranes. 1998. *Am. J. Physiol.* 274 (Gastrointest. Liver Physiol. 37):G103-G110.
- 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. Agri. Sci.* 38: 269-275.
- Rinne, M., M. Kalliomäki, S. Salminen, and E. Isolauri. 2005. Probiotic intervention in the neonatal period: long-term effects on gut microbiota. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 40(5): 653 (Abstr.).
- Rivera, A., J. L. Figueroa, E. Saldaña, V. Zamora, M. T. Sánchez-Torres, Y J. L. Cordero. 2010. Finalización de cerdos con baja proteína y manano-oligosacáridos o nucleótidos. *Arch. Zootec.* 59: 357-368.
- Rozeboom, D. W., D.T. Shaw, R. J. Tempelman, J. C. Miguel, J. E. Pettigrew, and A. Connolly. 2005. Effects of mannan-oligosaccharide and an antimicrobial product in nursery diets on performance of pigs reared on three different farms. *J. Anim. Sci.* 83: 2637-2644.
- Rueda, R., C. Gómez-León, and A. Gil. 2002. Ribonucleic acid hydrolysis by intestinal explants of neonatal piglets. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 35:685-690.
- Russell, L. E., B. J. Kerr, and R. A. Easter. 1987. Limiting amino acids in an 11% crude protein corn-soybean meal diet for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 65: 1266-1272.
- Saldaña, E., J. Figueroa, V. Zamora, M. Sánchez, y J. Cordero. 2009. Respuesta de porcinos en crecimiento alimentados con dietas a base de sorgo-pasta de soya con bajo nivel de proteína y

suplementadas con manano-oligosacáridos o nucleótidos. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 35(3): 85-93.

Santomá, G. 1991. Necesidades proteicas de las gallinas ponedoras. In: *Nutrición y Alimentación de Gallinas Ponedoras* Beorlegui, C. B. y G. G. Mateos (eds.). Ed. Mundi prensa. Madrid-España. Pp. 86-87.

SAS Institute Inc. 2009. *SAS/STAT User's Guide, Second Edition*. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. pp. 2431-42619.

Scheiwiller, J., E. Arrigoni, F. Brouns, and R. Amado. 2006. Human faecal microbiota develops the ability to degrade type 3 resistant starch during weaning. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 43: 584-591.

Schlimme, E., D. Martin and H. Meisel. 2000. Nucleosides and nucleotides: natural bioactive substances in milk and colostrums. *Br. J. Nutr.* 84:S59-S68.

Scholtens, P. A. M. J., M. S. Alles, J. G. Bindels, E. G. M. van der Linde, J. J. M. Tolboom, and J. Knol. 2006. Bifidogenic effects of solid weaning foods with added prebiotic oligosaccharides: a randomized controlled clinical trial. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 42: 553-559.

Scopesi, F., C. M. Verkeste, D. Paola, D. Gazzolo, M. A. Pronzato, P. L. Bruschetti, and U. M. Mariani. 1999. Dietary nucleotide supplementation raises erythrocyte 2,3-difosfoglicerate concentration in neonatal rats. *J. Nutr.* 129:662-665.

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.

Smiricky, M. R., C. M. Grieshop, D. M. Albin, J. E. Wubben, V. M. Gabert, and G. C. Fahey, Jr. 2002. The influence of soy oligosaccharides on apparent and true ileal amino acid digestibilities and fecal consistency in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 2433-2441.

Smiricky-Tjardes, M. R., I. Mavromichalis, D. M. Albin, J. E. Wubben, M. Rademacher, and V. M. Gabert. 2004. Bioefficacy of L-lysine sulfate compared with feed-grade L-lysine·HCl in young pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 2610-2614.

Smith, II, J. W., M. D. Tokach, J. L. Nelssen, and R. D. Goodband. 1999a. Effects of lysine:calorie ratio on growth performance of 10- to 25-kilogram pigs. *J. Anim. Sci.* 77: 3000-3006.

- Smith, II, J. W., M. D. Tokach, P. R. O'Quinn, J. L. Nelssen, and R. D. Goodband. 1999b. Effects of dietary energy density and lysine:calorie ratio on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 77: 3007-3015.
- Steel, D. R. G., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 3rd. ed. WCB McGraw-Hill Co., New York, 666 p.
- Stein, H. H. and D. Y. Kil. 2006. Reduced use of antibiotic growth promoters in diets fed to weanling pigs: dietary tools, part 2. *Anim. Biotechnol.* 17:217-231.
- Szymański, H., J. Pejcz, M. Jawieñ, A. Kucharska, M. Strus, and P. Heczko. 2005. Treatment of acute infectious diarrhea in children with a mixture of three new *Lactobacillus rhamnosus* strains. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 40(5): 652 (Abstr.).
- Trujillo-Coutiño, J. E., J. L. Figueroa-Velasco, M. Martínez-Aispuro, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, M. Cuca-García, y M. Cervantes-Ramírez. 2007. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. *Agrociencia* 41: 597-607.
- Tsou Yau, K. I., Huang, C.B., W. Chen, S. J. Chen, Y. H. Chou, F. Y. Huang, K. E. Kua, N. Chen, M. McCue, P. A. Alarcon, R. L. Tresler, G. M. Comer, G. Baggs, R. J. Merritt and M. L. Masor. 2003. Effect of nucleotides on diarrhea and immune responses in healthy term infants in Taiwan. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 36: 37-43.
- Uauy, R., G. Stringel, R. Thomas, and R. Quan. 1990. Effect of dietary nucleosides on growth and maturation of the developing gut in the rat. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 10(4): 497-503.
- Underwood, M. A., N. H. Salzman, S. H. Bennett, M. Barman, D. A. Mills, A. Marcobal, D. J. Tancredi, C. L. Bevins, and M. P. Sherman. 2009. A randomized placebo-controlled comparison of 2 prebiotic/probiotic combinations in preterm infants: impact on weight gain, intestinal microbiota, and fecal short-chain fatty acids. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 48: 216-225.
- Van der Peet-Schwering, C. M. C., A. J. M. Jansman, H. Smidt, and I. Yoon. 2007. Effects of yeast culture on performance, gut integrity, and blood cell composition of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 85: 3099-3109.
- Vanderhoof, J. A. 2008. Prebiotics in allergy management. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 47: S38-S40.
- Wahlstrom, R. C., G. W. Libal, and R. C. Thaler. 1985. Efficacy of supplemental tryptophan, threonine, isoleucine and methionine for weanling pigs fed a low-protein, lysine- supplemented, corn-sunflower meal diet. *J. Anim. Sci.* 60: 720-724.

- Waligora-Dupriet, A. J., F. Campeotto, A. Bonet, P. Soullaines, I. Nicolis, C. Dupont, and M. J. Butel. 2005. Effects of oligofructose supplementation in infants 6 to 24 months of age on gut microflora and well-being: a double-blind, placebo-controlled study. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 40(5): 693 (Abstr.).
- Wenk, C. 2003. Growth promoter alternatives after the ban on antibiotics. *Pig News Info.* 24:11N–16N.
- White, L. A., M. C. Newman, G. L. Cromwell, and M. D. Lindemann. 2002. Brewers dried yeast as a source of mannan-oligosaccharides for weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 2619-2628.
- Yu, I. T., J. F. Wu, P. C. Yang, C. Y. Liu, D. N. Lee, and H. T. Yen. 2002. Roles of glutamine and nucleotides in combination on growth, immune responses and FMD antibody titres of weaned pigs. *Animal Science* 75: 379-385.
- Yu, V. Y. H. 2002. Scientific rationale and benefits of nucleotide supplementation of infant formula. *J. Paediatr. Child Health* 38: 543-549.
- Zamora, V., J. L. Figueroa, G. Borbolla, y L. Reyna. 2006. Avances en los requerimientos de aminoácidos para lechones: arginina, glutamina/glutamato. Seminario: Avances en la Nutrición de Cerdos. Unidad de Congresos del Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Zangeronimo, M. G., E. Tadeu F., L. D. Solis M., R. Tadeu F., e P. Borges R. 2007. Desempenho e excreção de nitrogênio de leitões dos 9 aos 25 kg alimentados com dietas com diferentes níveis de lisina digestível e proteína bruta. *Rev. Bras. Zoot.* 36: 1382-1387.

Cuadro 4. Efecto del nivel de proteína cruda y de manano-oligosacáridos sobre la respuesta productiva de cerdos machos castrados en iniciación (Experimento 1).

TRAT	PC (%)	MOS (%)	GDP (Kg d ⁻¹)	CDA (kg d ⁻¹)	CA	Pi (kg)	Pf (kg)	GCM (kg d ⁻¹)
1	20.0	0.0	0.641	1.172	1.837	14.000	27.475	0.246
2	20.0	0.1	0.626	1.160	1.853	13.550	26.700	0.244
3	20.0	0.2	0.614	1.219	2.019	13.300	26.200	0.242
4	20.0	0.3	0.617	1.215	1.943	13.400	26.375	0.228
5	14.5	0.0	0.625	1.237	2.000	13.350	26.475	0.245
6	14.5	0.1	0.597	1.139	1.919	13.375	25.925	0.231
7	14.5	0.2	0.530	1.340	2.511	13.600	24.750	0.218
8	14.5	0.3	0.575	1.060	1.847	13.600	25.675	0.212
EEM			0.017	0.039	0.067	0.139	0.379	0.009
	20.0		0.625	1.191	1.913	13.562	26.687	0.24
	14.5		0.582	1.194	2.070	13.481	25.706	0.227
EEM			0.017	0.039	0.067	0.139	0.379	0.009
		0.0	0.633	1.204	1.920	13.675	26.975	0.246
		0.1	0.611	1.150	1.886	13.462	26.312	0.237
		0.2	0.572	1.279	2.265	13.450	25.475	0.230
		0.3	0.596	1.138	1.895	13.500	26.025	0.220
EEM			0.024	0.055	0.095	0.197	0.537	0.012
Valor de P								
TRATAMIENTO			0.41	0.32	0.13		0.26	0.90
PC			0.09	0.42	0.08		0.06	0.27
MOS			0.36	0.09	0.07		0.18	0.77
PC×MOS			0.78	0.87	0.68		0.88	0.96

^{a, b, c} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

TRAT= tratamiento, PC= proteína cruda, MOS= manano-oligosacáridos, EEM= error estándar de la media, GDP= ganancia diaria de peso, CDA= consumo diario de alimento, CA= conversión alimenticia, Pi= peso inicial, Pf= peso final, GCM= ganancia de carne magra.

Cuadro 5. Efecto del nivel de proteína cruda y de manano-oligosacáridos sobre las características de la canal de cerdos machos castrados en iniciación (Experimento 1).

TRAT	PC (%)	MOS (%)	GDi (mm)	GDF (mm)	AMLi (cm ²)	AMLf (cm ²)	PCMi (%)	PCMf (%)	
1	20.0	0.0	1.50	2.75	583.3	1088.8	51.9	45.2	
2	20.0	0.1	1.25	2.75	498.8	1041.5	50.8	45.0	
3	20.0	0.2	1.50	2.50	537.8	1047.5	51.7	45.7	
4	20.0	0.3	1.50	3.00	468.5	924.5	49.9	43.6	
5	14.5	0.0	1.25	2.50	531.8	1064.5	52.2	45.8	
6	14.5	0.1	1.50	2.50	488.5	956.5	50.4	44.8	
7	14.5	0.2	1.25	2.25	501.8	1016.2	50.8	46.5	
8	14.5	0.3	1.00	2.50	494.8	925.0	51.4	44.4	
EEM			0.24	0.24	33.3	66.1	0.9	0.7	
20.0			1.44	2.75	522.1	1025.6	51.1	44.9	
14.5			1.25	2.44	504.2	990.6	51.2	45.4	
EEM			0.12	0.12	16.7	33.1	0.4	0.3	
			0.0	1.38	2.63	557.5	1076.6	52.0	45.5
			0.1	1.38	2.63	493.6	999.0	50.6	44.9
			0.2	1.38	2.38	519.8	1031.9	51.3	46.1
			0.3	1.25	2.75	481.6	924.8	50.6	44.0
EEM			0.17	0.17	23.6	46.7	0.6	0.5	
Valor de P									
TRATAMIENTO				0.52		0.49		0.27	
PC				0.08		0.46		0.75	
MOS				0.48		0.16		0.93	
PC×MOS				0.93		0.92		0.78	

^{a, b, c} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

TRAT= tratamiento, PC= proteína cruda, MOS= manano-oligosacáridos, EEM= error estándar de la media, GDi= grasa dorsal inicial, GDF= grasa dorsal final, AMLi= área del músculo *longissimus* inicial, AMLf= área del músculo *longissimus* final, PCMi= porcentaje de carne magra inicial, PCMf= porcentaje de carne magra final.

Cuadro 6. Efecto del nivel de proteína cruda y de nucleótidos sobre la respuesta productiva de cerdos machos castrados en iniciación (Experimento 2).

TRAT	PC (%)	NUC (%)	GDP (Kg d ⁻¹)	CDA (kg d ⁻¹)	CA	Pi (kg)	Pf (kg)	GCM (kg d ⁻¹)	
1	20.5	0.0	0.708	1.317	1.872	18.080	32.960	0.256	
2	20.5	0.6	0.687	1.360	2.000	18.240	32.680	0.270	
3	18.5	0.0	0.647	1.338	2.068	18.220	31.820	0.252	
4	18.5	0.6	0.714	1.379	1.938	18.080	33.080	0.267	
5	16.5	0.0	0.643	1.295	2.029	18.000	31.520	0.241	
6	16.5	0.6	0.717	1.372	1.912	18.140	33.200	0.304	
EEM			0.036	0.054	0.101	0.283	0.9	0.016	
			20.5	0.698	1.338	1.940	18.160	32.820	0.263
			18.5	0.680	1.358	2.003	18.150	32.450	0.259
			16.5	0.680	1.333	1.970	18.070	32.360	0.273
EEM			0.025	0.038	0.071	0.2	0.636	0.011	
			0.0	0.666	1.316	1.989	18.100	32.100	0.249b
			0.6	0.706	1.370	1.952	18.153	32.986	0.280a
EEM			0.021	0.031	0.058	0.163	0.519	0.009	
Valor de P									
TRATAMIENTO			0.54	0.87	0.73		0.69	0.15	
PC			0.86	0.89	0.82		0.86	0.69	
NUC			0.19	0.24	0.65		0.24	0.03	
PC×NUC			0.37	0.93	0.35		0.52	0.25	

^{a, b, c} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

TRAT= tratamiento, PC= proteína cruda, NUC= nucleótidos, EEM= error estándar de la media, GDP= ganancia diaria de peso, CDA= consumo diario de alimento, CA= conversión alimenticia, Pi= peso inicial, Pf= peso final, GCM= ganancia de carne magra.

Cuadro 7. Efecto del nivel de proteína cruda y de nucleótidos sobre las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos machos castrados en iniciación (Experimento 2).

TRAT	PC (%)	NUC (%)	GDi (mm)	Gdf (m)	AMLi (cm)	AMLf (cm)	PCMi (%)	PCMf (%)	Urea (mg dL ⁻¹)
1	20.5	0.0	1.8	3.4	743.6	1214.2b	49.0	43.2b	24.3a
2	20.5	0.6	1.8	3.6	697.6	1322.8ab	47.9	44.2ab	23.8a
3	18.5	0.0	2.0	3.0	753.6	1261ab	48.7	44.4ab	10.3b
4	18.5	0.6	1.4	3.2	811.2	1361.4ab	50.7	44.6ab	14.4b
5	16.5	0.0	1.6	3.0	633.4	1113.4b	47.3	43.1b	6.5c
6	16.5	0.6	1.8	3.4	723.6	1502.4a	48.6	45.8a	6.9c
EEM			0.2	0.2	39.3	61.6	0.6	0.5	0.7
	20.5		1.8	3.5	720.6	1268.5	48.5	43.7	24.0a
	18.5		1.7	3.1	782.4	1311.2	49.7	44.5	12.3b
	16.5		1.7	3.2	678.5	1307.9	47.9	44.4	6.7c
EEM			0.14	0.16	27.8	43.6	0.4	0.3	0.5
	0.0		1.8	3.1	710.2	1196.2b	48.3	43.6b	13.7
	0.6		1.7	3.4	744.1	1395.5a	49.1	44.9a	15.0
EEM			0.11	0.13	22.7	35.5	0.4	0.3	0.4
Valor de P									
TRATAMIENTO				0.37		0.0054		0.0028	< 0.0001
PC				0.21		0.74		0.202	< 0.0001
NUC				0.16		0.0008		0.001	0.100
PC×NUC				0.88		0.047		0.026	0.139

^{a, b, c} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

TRAT= tratamiento, PC= proteína cruda, NUC= nucleótidos, EEM= error estándar de la media, GDi= grasa dorsal inicial, Gdf= grasa dorsal final, AMLi= área del músculo *longissimus* inicial, AMLf= área del músculo *longissimus* final, PCMi= porcentaje de carne magra inicial, PCMf= porcentaje de carne magra final, Urea= concentración de urea en plasma.