

ADICIÓN DE GLUCOMANANOS A DIETAS CON BAJA PROTEÍNA A BASE DE SORGO-PASTA DE SOYA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO Y FINALIZACIÓN

Addition of Glucomannans to Low-Protein Diets Based on Sorghum-Soybean Meal for Growing and Finishing Pigs

Vicente Zamora, José Luis Figueroa*, José Luis Cordero, Marcial Rugerio, Lorenzo Reyna y María Teresa Sánchez-Torres

Programa de Ganadería, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, km 36.5 Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C.P. 56230. Tel./Fax (595) 952 -027. *jlfigueroa@colpos.mx.

RESUMEN

Los cerdos en engorde alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína (DBP) presentan resultados productivos inconsistentes; en ocasiones, las variables productivas se mantienen, y en otras se deterioran. Además, siendo el sorgo el ingrediente en mayor cantidad, es probable que la dieta contenga mayor concentración de micotoxinas que en dietas estándar o en dietas formuladas con maíz. Por ello, se realizaron dos experimentos con cerdos en crecimiento y finalización, adicionando un secuestrante de micotoxinas (SECM) a dietas estándar y DBP para determinar su efecto en la respuesta productiva, características de la canal y urea en plasma. En el experimento de crecimiento se utilizaron 40 cerdos (machos castrados; $22,18 \pm 0,82$ kg) en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial (2×4): dos niveles de proteína cruda (PC: 16; y 11,5%) y cuatro del SECM (0; 0,5; 1,0; 1,5 kg t^{-1}), con cinco repeticiones por tratamiento. La reducción de PC disminuyó ($P \leq 0,05$) la ganancia diaria de peso (GDP) y de carne magra (GCM), e incrementó ($P \leq 0,05$) la conversión alimenticia (CA). En el experimento de finalización también se utilizaron 40 cerdos (machos castrados; $49,48 \pm 1,10$ kg). El diseño experimental fue similar al del experimento de crecimiento (14 y 9,5% PC; 0; 0,5; 1,0 y 1,5 kg t^{-1} SECM) y cinco repeticiones por tratamiento. La reducción de PC disminuyó ($P \leq 0,05$) GDP, consumo de alimento (CAL) y GCM. En ambos experimentos, el SECM no mejoró las variables de respuesta en cerdos alimentados con DBP. Se concluye que la adición de SECM en DBP no mejora las va-

riables productivas, pero mantiene las características de la canal, aunque reduce la GCM.

Palabras clave: Cerdos, dietas sorgo-pasta de soya, aminoácidos sintéticos, secuestrante de micotoxinas, urea en plasma.

ABSTRACT

The growth performance of fattening pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets (LPD) has been inconsistent; some times the productive variables do not change, but other times they are deteriorated. In addition, because the sorghum grain represents the main ingredient, it is likely that the diet has higher amounts of mycotoxins than standard diets or diets formulated with corn grain. So, two experiments were conducted with growing-finishing pigs to determine the effect of a mycotoxin sequestrant (MSEQ) added to standard or LPD on growth performance, carcass characteristics, and plasma urea nitrogen concentration. In the growing experiment, 40 growing (22.18 ± 0.82 kg) barrows were used in a randomized complete block design in a factorial (2×4) arrangement: two levels of crude protein (CP: 16 and 11.5%) and four levels of micotoxins sequestrant (glucomannans; 0, 0.5, 1.0, 1.5 kg t^{-1}), with five replicates per treatment. Lowering CP reduced ($P \leq 0.05$) average daily gain (ADG) and fat free lean gain (FFLG), and increased ($P \leq 0.05$) feed:gain ratio. In the finishing experiment, 40 finishing (49.48 ± 1.10 kg) barrows were used in a randomized complete block design in a factorial (2×4) arrangement: two levels of CP (14 and 9.5%) and four levels of micotoxins sequestrant (glucomannans; 0, 0.5, 1.0, 1.5 kg t^{-1}), with five replicates per treatment. Diminishing CP reduced ($P \leq 0.05$)

ADG, average daily feed intake, and FFLG. The addition of glucomannans to low-protein diets did not affect growth performance in both experiments. It was concluded that adding glucomannans as mycotoxins sequestrant does not improve productive variables in pigs fed low-protein diets, but it produces similar carcass characteristics as in pigs fed standard diet, except the lower FFLG.

Key words: Pigs, sorghum-soybean diets, crystalline amino acids, glucomannans, plasma urea nitrogen concentration.

INTRODUCCIÓN

En investigaciones realizadas utilizando dietas con baja proteína (DBP) con base en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)-pasta de soya (*Glycine max* L. Merrill) para cerdos (*Sus scrofa domestica*) en crecimiento, la proteína cruda (PC) de la dieta sólo se pudo reducir cuatro unidades porcentuales en la etapa de crecimiento [9] sin afectar el comportamiento productivo cuando se agregaron aminoácidos (AA) sintéticos. En finalización no está definida la reducción de la PC. En dichas investigaciones, los resultados han sido inconsistentes, lo que indica que varios factores pueden afectar la respuesta productiva de los cerdos [4], entre los cuales puede estar la presencia de micotoxinas en el alimento. Al disminuir el contenido de PC en las DBP aumenta la cantidad de grano de sorgo en la dieta, siendo este ingrediente más susceptible a presentar micotoxinas que el maíz (*Zea mays*).

En cerdos, el consumo de alimento contaminado con micotoxinas causa problemas, como la disminución del consumo de alimento y ganancia de peso, aumento en la conversión alimenticia, incremento de la mortalidad y disminución en la calidad de la canal [20]. La adición de compuestos adsorbentes (secuestrantes) de micotoxinas evita sus efectos negativos en especies pecuarias. Los adsorbentes de micotoxinas pueden ser inorgánicos y orgánicos. Dentro de los primeros, los aluminosilicatos son más específicos para algunas micotoxinas como las aflatoxinas, pero tienen la desventaja de secuestrar algunas vitaminas y minerales de la dieta. Los secuestrantes orgánicos, como los glucomannanos, tienen mayor afinidad por las micotoxinas y no capturan vitaminas ni minerales, lo que los convierte en una mejor opción para ser adicionados en las dietas. El objetivo de esta investigación fue determinar si la adición de un secuestrante de micotoxinas (glucomannanos) en dietas con baja proteína, formuladas a base de sorgo-pasta de soya, mejora la respuesta productiva, las características de la canal, y la concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento y finalización, a los mismos niveles que los obtenidos con cerdos alimentados con dietas estándar [18].

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento 1 (crecimiento)

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar en un arreglo factorial (2×4) de tratamientos (dos niveles de proteína cruda; PC, y cuatro niveles de secuestrantes de micotoxinas; SECM), con cinco repeticiones (un cerdo por repetición) por tratamiento. Cuarenta cerdos machos castrados (Yorkshire×Duroc×Pietrain) en crecimiento ($22,18 \pm 0,82$ kg peso inicial) fueron asignados al azar a los tratamientos durante 35 d. El criterio de bloqueo fue el peso inicial. Cada cerdo se alojó en un corral individual (1,2×1,5 m) con piso de concreto, comedero tipo tolva y bebedero tipo chupón. El experimento se realizó en la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados en Tecámac, estado de México, durante el otoño (octubre-noviembre; 12,3°C temperatura promedio, -5°C mínima, 27°C máxima) [10]. Las dietas experimentales (TABLA I) tuvieron como base sorgo-pasta de soya, variando la concentración de PC (%) y SECM (kg t^{-1}): T1) dieta testigo, 16,0; 0,0; T2) 16,0; 0,5; T3) 16,0; 1,0; T4) 16,0; 1,5; T5) 11,5; 0,0; T6) 11,5; 0,5; T7) 11,5; 1,0; T8) 11,5; 1,5. Los dos niveles de proteína se obtuvieron de investigaciones previas [27]; el primero correspondió a la dieta testigo; con el segundo, los cerdos tuvieron la menor concentración de urea en plasma. El sorgo utilizado fue el de menor calidad disponible en el mercado local, a fin de asegurar que presentara micotoxinas. Todas las dietas se formularon con el mismo nivel de energía metabolizable (EM; $3,265 \text{ Mcal kg}^{-1}$), agregando aceite crudo de soya al variar las cantidades de sorgo y reduciendo la pasta de soya para obtener la concentración de proteína predeterminada. En las dietas con baja proteína (T5, T6, T7, T8) se adicionaron AA sintéticos (L-lisina·HCl, L-treonina, DL-metionina, y L-triptófano) para igualar la concentración total de lisina, treonina, metionina y triptófano de la dieta testigo (T1). El alimento y agua se proporcionaron *ad libitum*.

El cambio de peso de los cerdos para calcular la ganancia diaria de peso (GDP), así como el consumo de alimento (CAL), y la conversión alimenticia (CA), se determinaron semanalmente. El último día del experimento se tomaron muestras de sangre mediante punción de la vena cava utilizando tubos vacutainer con heparina (BD Vacutainer, Franklin Lakes, NJ, 07417, EUA); las muestras se colocaron en hielo hasta centrifugarse a 2.500 rpm (1.286 g) durante 20 min en una centrífuga (IEC Centra 8R, International Equipment Company, EUA) para separar el plasma del paquete celular; una vez separados, el plasma se transfirió a tubos de poliuretano y se conservó a -20°C en un congelador (Tappan EUR251P7W, Electrolux Home Products North America, EUA) hasta realizar las lecturas de urea en plasma (UREA) por espectrofotometría de rayos UV (Espectrofotómetro Cary 1E de luz UV visible, Varian, Australia) [5].

TABLA I
COMPOSICIÓN (%) DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES PARA CERDOS MACHOS CASTRADOS EN CRECIMIENTO
(20-50 KG DE PESO) / COMPOSITION (%) OF EXPERIMENTAL DIETS FOR GROWING (20-50 KG BODY WEIGHT) BARROWS

Ingrediente/Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
Sorgo	75,553	75,449	75,344	75,239	86,973	86,868	86,764	86,659	
Pasta de soya (44%)	20,566	20,588	20,610	20,632	7,951	7,973	7,995	8,017	
Aceite de soya	1,042	1,075	1,109	1,142	1,277	1,310	1,344	1,377	
L-Lisina HCl	0,259	0,258	0,258	0,257	0,684	0,684	0,683	0,683	
DL-Metionina	0,014	0,014	0,014	0,014	0,142	0,142	0,142	0,142	
L-Triptófano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,066	0,066	0,066	0,066	
L-Treonina	0,020	0,020	0,020	0,020	0,207	0,207	0,207	0,207	
Premezcla vit.†	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	0,250	
Premezcla micromin.‡	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	
Glucomananos	0,000	0,050	0,100	0,150	0,000	0,050	0,100	0,150	
Carbonato de calcio	1,112	1,112	1,112	1,112	1,180	1,179	1,179	1,179	
Fosfato monodivale	0,684	0,684	0,684	0,684	0,771	0,771	0,771	0,771	
Sal	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	
Análisis calculado									NRC§
EM, Mcal kg ⁻¹	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265
PC, %	16,00	16,00	16,00	16,00	11,50	11,50	11,50	11,50	18,00
Calcio, %	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
P disponible, %	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Lisina, %	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Treonina, %	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
Triptófano, %	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,17
Metionina, %	0,27	0,27	0,27	0,27	0,34	0,34	0,34	0,34	0,25
Arginina, %	0,95	0,95	0,95	0,95	0,59	0,59	0,59	0,59	0,37
Histidina, %	0,41	0,41	0,41	0,41	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30
Isoleucina, %	0,69	0,69	0,69	0,69	0,48	0,48	0,48	0,48	0,51
Leucina, %	1,62	1,62	1,62	1,62	1,32	1,32	1,32	1,32	0,90
Valina, %	0,77	0,77	0,77	0,77	0,56	0,56	0,56	0,56	0,64
Metionina + Cistina	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
Fenilalanina + Tirosina	1,43	1,43	1,43	1,43	1,04	1,04	1,04	1,04	0,87
Análisis determinado									
Energía bruta, Mcal kg ⁻¹	4,179	4,231	4,226	4,218	4,197	4,128	4,195	4,193	
Proteína cruda, %	16,04	16,31	15,99	16,15	11,68	11,86	11,43	11,59	
Calcio, %	0,72	0,72	0,73	0,75	0,69	0,74	0,74	0,72	
Fósforo total, %	0,54	0,55	0,64	0,63	0,58	0,58	0,59	0,58	
Costo de la dieta, USD \$ kg ⁻¹ ¶	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	

† Proporcionó por kg de alimento: 15000 UI vit. A; 2500 UI vit. D₃; 37,5 UI vit. E; 2,5 mg vit K; 2,25 mg tiamina; 6,25 mg riboflavina; 50 mg niacina; 2,5 mg piridoxina; 0,0375 mg cianocobalamina; 0,13 mg biotina; 563 mg colina; 20 mg ácido pantoténico; 1,25 mg ácido fólico.

‡ Aportó por kg de alimento: 150 mg Fe; 150 mg Zn; 150 mg Mn; 10 mg Cu; 0,15 mg Se; 0,9 mg I; 0,2 mg Cr.

§ Recomendación de nutrimentos sugerida para la etapa de crecimiento (NRC, 1998).

¶ Calculado con base a los precios de los ingredientes vigentes en septiembre-diciembre de 2005. Conversión a dólar al tipo de cambio del 30 de noviembre de 2007 (10,91 pesos mexicanos por dólar).

El primer y último día del experimento, se midió la grasa dorsal (GD) y el área del músculo *longissimus* (AML) utilizando un ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 (Medison, Inc., Cypress, California, EUA). Estos datos, junto con los pesos inicial y final, se utilizaron para calcular la ganancia de carne magra (GCM), y el porcentaje de carne magra (%CM) en la canal, utilizando la ecuación del National Pork Producers Council (NPPC) [17]. En el laboratorio se determinó PC por el método de Kjeldahl [1], energía bruta (EB) en bomba calorimétrica adiabática (Oxygen Bomb Calorimeter, Parr Instruments Company, Illinois, EUA) [26], Ca y P [7], y micotoxinas utilizando la técnica de cromatografía de capa fina [25].

Los datos de las variables productivas medidas semanalmente (GDP, CAL y CA) se analizaron estadísticamente utilizando PROC MIXED [16] para determinar efectos fijos de los factores en estudio, así como bloque y semana; además, para las medias de los efectos fijos en cada variable de respuesta se usó PROC LSMEANS y pruebas de comparación múltiple de medias en pares con ADJUST=TUKEY [16]. Los datos globales de las variables que sólo se midieron al inicio y al final del experimento se analizaron utilizando el PROC GLM [21], y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey [24].

Experimento 2 (finalización)

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial (2×4) de tratamientos (dos niveles de PC y cuatro de SECM) y cinco repeticiones por tratamiento, con 40 cerdos machos castrados (Yorkshire×Duroc×Pietrain) en finalización (49,48 ± 1,10 kg de peso inicial). Los cerdos utilizados provenían del experimento anterior, a los cuales se les dio una semana de recuperación recibiendo todos la dieta estándar antes de la nueva asignación de tratamientos, y se alojaron en condiciones similares a las del experimento 1; el trabajo de campo se realizó de noviembre a enero (11°C temperatura promedio; -7°C mínima y 27°C máxima) [10]. Las dietas (TABLA II) tuvieron como base sorgo-pasta de soya, con las siguientes concentraciones de PC (%) y cantidades de SECM (kg t⁻¹): T1) dieta testigo, 14,0; 0,0; T2) 14,0; 0,5; T3) 14,0; 1,0; T4) 14,0; 1,5; T5) 9,5; 0,0; T6) 9,5; 0,5; T7) 9,5; 1,0; T8) 9,5; 1,5. El nivel de energía metabolizable (EM) se mantuvo constante (3,265 Mcal kg⁻¹) en todas las dietas; así mismo, el aporte de PC y la adición de AA sintéticos se realizó de manera similar al experimento 1. El alimento y agua se proporcionaron *ad libitum*. El trabajo de campo se realizó en las mismas instalaciones que el experimento anterior, y los datos se registraron y se analizaron de manera similar. Asimismo, la duración del experimento fue de 35 días.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de micotoxinas encontrada en las dietas utilizadas en este estudio se presenta en la TABLA III. La

sensibilidad mínima que posee el método de cromatografía de capa fina es de 5 ppb [23]. La concentración de zearalenona y ocratoxinas detectadas en las dietas fue muy baja como para provocar problemas de salud en los animales, por lo que estos niveles no representaron peligro para los cerdos en los dos experimentos. Las 10 bandas fluorescentes en las dietas, diferentes a las bandas de las micotoxinas analizadas, indican la presencia de otras micotoxinas o bien, de complejos formados entre micotoxinas y otros químicos del alimento; sin embargo, no se identificaron ni se determinó su concentración por carecer de los estándares adecuados.

Experimento 1

El comportamiento productivo y las características de la canal (TABLA IV) no fueron afectados ($P>0,05$) por el nivel de SECM en la dieta, o por la interacción PC y SECM ($P>0,05$). Sin embargo, al realizar la comparación de medias se encontraron diferencias ($P\leq 0,05$) en GDP y CA entre tratamientos; la GDP y CA mejoraron ($P\leq 0,01$) en 16,3 y 13,2%, respectivamente, en los cerdos que consumieron las dietas con 16% de PC. El CAL no fue diferente ($P>0,05$) entre tratamientos. La disminución de 16 a 11,5% de PC en dietas sorgo-pasta de soya podría ocasionar deficiencia de algunos AA esenciales (histidina, isoleucina, valina) [2], lo que podría explicar los resultados obtenidos en este experimento, debido a que el crecimiento de los cerdos está afectado por el consumo de aminoácidos, entre otros factores. Esto concuerda con otros estudios donde se ha reducido la PC en dietas sorgo-pasta de soya hasta 10,5% [4] y 11% en dietas maíz-pasta de soya [12]. Este CAL similar en todos los cerdos, observado en esta etapa, coincide con lo encontrado por otros autores [8] al reducir la PC de la dieta hasta 11% y adicionar valina, isoleucina e histidina, a pesar de que en este experimento no se agregaron dichos aminoácidos.

El AML, %CM y GD no fueron diferentes ($P\leq 0,05$) entre tratamientos. La falta de efecto ($P>0,05$) de los factores principales analizados sobre las características de la canal (GD y %CM) coincide con otros reportes [8] al disminuir la PC de la dieta hasta 11%. Sin embargo, estos resultados son diferentes a otros en donde la GD aumentó [11, 15], y el AML disminuyó [8, 11, 23], aún manteniendo el mismo nivel de EM, lo cual es contradictorio con los resultados de este experimento. Sin embargo, la GCM fue mejor ($P\leq 0,01$) en los cerdos que consumieron las dietas con 16% PC, con 45 g d⁻¹ más con respecto a los cerdos que consumieron las dietas con 11,5%. La reducción en GCM al disminuir a 11,5% la PC de la dieta, probablemente se deba a la menor concentración de valina, isoleucina e histidina en dietas bajas en proteína, lo cual limita la síntesis de proteína corporal [8].

La concentración de UREA en plasma disminuyó ($P\leq 0,01$) en 84,31% en los cerdos que consumieron las dietas con 11,5% PC comparados con los de 16,0%. La concentración de este metabolito también disminuyó ($P\leq 0,05$) cuando no se agregó SECM a las dietas, aunque no se observó

TABLA II
COMPOSICIÓN (%) DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES PARA CERDOS MACHOS CASTRADOS EN FINALIZACIÓN (50-80 KG PESO VIVO) / COMPOSITION (%) OF EXPERIMENTAL DIETS FOR FINISHING (50-80 KG BODY WEIGHT) BARROWS

Ingrediente/Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
Sorgo	82,504	82,400	82,295	82,191	93,927	93,823	93,718	93,613	
Pasta de soya	14,567	14,589	14,611	14,633	1,952	1,973	1,995	2,017	
Aceite de soya	0,549	0,582	0,616	0,649	0,783	0,816	0,850	0,883	
L-Lisina HCl	0,200	0,200	0,199	0,199	0,626	0,625	0,625	0,624	
DL-Metionina	0,000	0,000	0,000	0,000	0,126	0,126	0,126	0,127	
L-Triptófano	0,000	0,000	0,000	0,000	0,065	0,065	0,065	0,065	
L-Treonina	0,002	0,002	0,002	0,002	0,189	0,189	0,189	0,189	
Premezcla vit. [†]	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	
Premezcla micromin. [‡]	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	
Glucomananos	0,000	0,050	0,100	0,150	0,000	0,050	0,100	0,150	
Carbonato de calcio	0,947	0,946	0,946	0,946	1,014	1,014	1,014	1,013	
Fosfato monodivale	0,530	0,530	0,530	0,530	0,618	0,618	0,618	0,618	
Sal	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	0,350	
Análisis calculado									NRC [§]
EM, Mcal/kg	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265
PC, %	14,00	14,00	14,00	14,00	9,50	9,50	9,50	9,50	15,50
Calcio, %	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Fósforo disponible, %	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
Lisina, %	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Treonina, %	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Triptófano, %	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,14
Metionina, %	0,23	0,23	0,23	0,23	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20
Arginina, %	0,78	0,78	0,78	0,78	0,42	0,42	0,42	0,42	0,27
Histidina, %	0,36	0,36	0,36	0,36	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Isoleucina, %	0,60	0,60	0,60	0,60	0,39	0,39	0,39	0,39	0,42
Leucina, %	1,50	1,50	1,50	1,50	1,20	1,20	1,20	1,20	0,71
Valina, %	0,68	0,68	0,68	0,68	0,47	0,47	0,47	0,47	0,52
Metionina + Cistina	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,44
Fenilalanina +Tirosina	1,26	1,26	1,26	1,26	0,86	0,86	0,86	0,86	0,70
Análisis determinado									
Energía bruta, Mcal kg ⁻¹	4,125	4,182	4,173	4,170	4,147	4,172	4,251	4,224	
Proteína cruda, %	14,12	14,24	14,26	14,27	9,80	9,68	9,67	9,71	
Calcio, %	0,57	0,57	0,54	0,55	0,57	0,58	0,56	0,57	
Fósforo total, %	0,54	0,54	0,55	0,52	0,51	0,50	0,54	0,50	
Costo de la dieta, USD \$ kg ⁻¹ ^Φ	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	

[†] Proporcionó por kg de alimento: 12000 UI vit. A; 2000 UI vit. D3; 30 UI vit. E; 2,0 mg vit K; 1,8 mg tiamina; 5 mg riboflavina; 40 mg niacina; 2 mg piridoxina; 0,03 mg cianocobalamina; 0,1 mg biotina; 450 mg colina; 16 mg ácido pantoténico; 1 mg ácido fólico.

[‡] Aportó por kg de alimento: 150 mg Fe; 150 mg Zn; 150 mg Mn; 10 mg Cu; 0,15 mg Se; 0,9 mg I; 0,2 mg Cr.

[§] Recomendación de nutrimentos sugerida para la etapa de finalización (NRC, 1998).

^Φ Calculado con base a los precios de los ingredientes vigentes en septiembre-diciembre de 2005. Conversión a dólar al tipo de cambio del 30 de noviembre de 2007 (10,91 pesos mexicanos por dólar).

TABLA III
CONTENIDO DE MICOTOXINAS EN LAS DIETAS EXPERIMENTALES / MYCOTOXINS CONCENTRATION IN EXPERIMENTAL DIETS

Etapa/Tratamiento	T1*	T2*	T3*	T4*	T5*	T6*	T7*	T8*
Crecimiento								
Aflatoxinas totales, ppb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ocratoxinas totales, ppb	ND	ND	ND	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Zearalenona, ppb	44,0	43,9	43,8	43,8	48,9	48,9	48,8	48,0
Toxina T-2, ppb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Finalización								
Aflatoxinas totales, ppb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ocratoxinas totales, ppb	ND	ND	ND	ND	10,0	10,0	10,0	10,0
Zearalenona, ppb	47,0	47,0	46,9	46,8	52,0	52,0	52,1	52,1
Toxina T-2, ppb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND= No detectable. * Se detectaron 10 bandas fluorescentes que indican elevada actividad micótica.

($P>0,05$) efecto del secuestrante sobre esta variable. Esta menor concentración de urea en plasma es consistente con otros estudios donde se disminuyó la PC y se agregaron AA sintéticos [8, 11, 13], e indica una mayor eficiencia en la utilización del N [8] y menor desperdicio, si se adicionan aminoácidos para no provocar desequilibrios entre ellos [19].

La prueba de efectos fijos con PROC MIXED mostró que la PC tuvo efecto significativo ($P\leq 0,01$) sobre la GDP y CA, y el tiempo (SEM) afectó ($P\leq 0,01$) GDP, CAL y CA. Sin embargo, no hubo efecto ($P>0,05$) del SECM ni de las interacciones PC×SECM o PC×SECM×SEM.

Experimento 2

El SECM o la interacción SECM×PC (TABLA V) no afectaron ($P>0,05$) el comportamiento productivo ni las características de la canal de los cerdos en finalización. Sin embargo, se mejoró ($P\leq 0,01$) en 12,5% la GDP, e incrementó el CAL ($P\leq 0,05$) en 6,8%, y la GCM ($P\leq 0,01$) fue 11,8% mayor en los cerdos que consumieron dietas con 14% PC comparados con los que consumieron 9,5% PC. La reducción de la PC en las dietas disminuyó aún más el contenido de AA esenciales en la dieta, como ocurrió en el experimento 1. En todas las DBP, la histidina, isoleucina y valina fueron deficientes o marginales comparados con los requerimientos para cerdos en esta etapa (TABLA II). Además, la disminución del CAL en los cerdos que consumieron las DBP provocó una mayor deficiencia de aminoácidos, por lo que no se cubrieron los requerimientos. Lo anterior puede explicar la disminución de GDP y GCM encontrada en los cerdos alimentados con DBP, y que coincide con otras investigaciones [14, 28].

La GD, AML y el %CM no fueron diferentes ($P>0,05$) entre tratamientos. Al igual que en el experimento 1, la GD fue similar en todos los tratamientos, lo cual coincide con otras in-

vestigaciones en las cuales se ha disminuido la PC de la dieta en cuatro unidades porcentuales [3, 13].

La concentración de UREA en plasma disminuyó ($P\leq 0,01$) 76,5% en cerdos que consumieron las dietas con 9,5% PC, comparados con los que consumieron 14,0% PC. Esta reducción de la UREA en plasma de los cerdos alimentados con DBP, coincide con otros reportes [14, 22] e indica que los excesos de aminoácidos se reducen y que la proteína de la dieta se utiliza con mayor eficiencia [6], aun cuando las DBP presentaron deficiencias marginales de algunos AA esenciales, lo que en teoría debió aumentar la UREA; sin embargo, esto no ocurrió, lo que indica que las dietas contenían la concentración suficiente de aminoácidos esenciales para una respuesta adecuada a la capacidad genética de los cerdos para crecimiento [8].

La prueba de efectos fijos mostró que la GDP y CAL fueron afectados ($P\leq 0,05$) por el nivel de PC en la dieta. El factor tiempo (SEM) afectó ($P\leq 0,05$) CAL y CA. No se observó efecto ($P>0,05$) del SECM, ni de las interacciones PC×SECM o PC×SECM×SEM.

CONCLUSIONES

La inclusión de glucomananos como secuestrantes de micotoxinas en dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína para cerdos en crecimiento y finalización, no mejoró la respuesta productiva de los cerdos alimentados con este tipo de dietas, aunque se mantienen la mayoría de las características de la canal. Es posible que otros factores de los ingredientes o de la dieta estén interfiriendo con la respuesta productiva de los cerdos en engorde; por tanto, es necesario analizarlos separadamente para determinar si se mejora la respuesta productiva de cerdos alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína.

TABLA IV

RESPUESTA PRODUCTIVA, CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL, Y CONCENTRACIÓN DE UREA EN PLASMA EN CERDOS MACHOS CASTRADOS EN CRECIMIENTO ALIMENTADOS CON DIETAS CON DOS NIVELES DE PROTEÍNA Y CUATRO DE SECUESTRANTE DE MICOTOXINAS / GROWTH PERFORMANCE, CARCASS CHARACTERISTICS, AND PLASMA UREA NITROGEN CONCENTRATION OF GROWING BARROWS FED TWO LEVELS OF CRUDE PROTEIN AND FOUR LEVELS OF MYCOTOXINS SEQUESTRANT

TRA	PC	SECM	Comportamiento productivo				Características de la canal [¶]			UREA [¶] (mg dL ⁻¹)
			GDP [†] (g d ⁻¹)	CAL [†] (kg d ⁻¹)	CA [†]	GCM [¶] (g d ⁻¹)	GD (cm)	AML (cm ²)	%CM	
1	16,0	0,0	876a	2,29	2,61bc	294	0,75	15,34	37,99	15,43a
2	16,0	0,5	814ab	2,10	2,58bc	294	0,85	19,06	40,25	20,50a
3	16,0	1,0	833a	2,08	2,50c	281	0,72	16,04	38,88	16,37a
4	16,0	1,5	840a	2,12	2,54bc	284	0,82	17,62	39,44	16,83a
5	11,5	0,0	707ab	2,01	2,91abc	252	0,77	17,22	40,27	1,56b
6	11,5	0,5	773ab	2,13	2,78abc	255	0,77	16,00	38,64	4,88b
7	11,5	1,0	699ab	2,04	2,79ab	232	0,70	14,61	38,95	2,13b
8	11,5	1,5	636b	1,88	3,13a	230	0,67	15,33	40,00	2,28b
EEM			42,810	0,110	0,103	15,725	0,051	1,240	0,784	1,482
Efectos principales										
16,0			841a	2,15	2,56b	288a	0,79	17,01	39,14	17,28a
11,5			704b	2,02	2,95a	242b	0,73	15,79	39,46	2,71b
0,00			792	2,15	2,76	273	0,76	16,28	39,13	8,49b
0,50			794	2,11	2,68	274	0,81	17,53	39,44	12,69a
1,00			766	2,06	2,74	256	0,71	15,33	38,91	9,25ab
1,50			738	2,00	2,83	257	0,75	16,47	39,72	9,56ab
SEM										
1			596c	1,47d	2,62b					
2			654c	1,78c	2,80ab					
3			820b	2,06b	2,54b					
4			864ab	2,53a	2,96a					
5			927a	2,56a	2,83ab					
Fuente de variación										
PC			0,01	0,10	0,01	0,01	0,13	0,17	0,56	0,01
SECM			0,53	0,56	0,51	0,51	0,29	0,38	0,75	0,04
PC×SECM			0,28	0,45	0,25	0,96	0,38	0,23	0,13	0,94
SEM			0,01	0,01	0,01					
Prueba de efectos fijos										
Variable de respuesta		Fuente	GLN	GLD	F tipo III	P> F				
GDP		PC	1	23,7	20,57	0,01				
GDP		SEM	4	62,0	43,87	0,01				
CAL		SEM	4	60,6	202,2	0,01				
CA		PC	1	36,6	28,64	0,01				
CA		SEM	4	73,8	5,38	0,01				

a, b, c, d Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas (P≤0.05).

TRAT= tratamiento; PC= proteína cruda; SECM= secuestrante de micotoxinas; SEM= semana; EEM= error estándar de la media; GDP= ganancia diaria de peso; CAL= consumo de alimento; CA= conversión alimenticia; GCM= ganancia de carne magra; GD= grasa dorsal; AML= área de músculo *longissimus*; CM= carne magra; UREA= concentración de urea en plasma; GLN= grados de libertad del numerador, GLD= grados de libertad del denominador.

† Variables analizadas con PROC MIXED de SAS.

TABLA V
RESPUESTA PRODUCTIVA, CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL, Y CONCENTRACIÓN DE UREA EN PLASMA DE CERDOS MACHOS CASTRADOS EN FINALIZACIÓN ALIMENTADOS CON DOS NIVELES DE PROTEÍNA CRUDA Y CUATRO DE SECUESTRANTE DE MICOTOXINAS / GROWTH PERFORMANCE, CARCASS CHARACTERISTICS, AND PLASMA UREA NITROGEN CONCENTRATION OF FINISHING BARROWS FED TWO LEVELS OF CRUDE PROTEIN AND FOUR LEVELS OF MYCOTOXINS SEQUESTRANT

TRA	PC	SECM	Comportamiento productivo				Características de la canal [¶]			UREA [¶] (mg dL ⁻¹)
			GDP [†] (g d ⁻¹)	CAL [†] (kg d ⁻¹)	CA [†]	GCM [¶] (g d ⁻¹)	GD (cm)	AML (cm ²)	%CM	
1	14,0	0,0	959	2,97	3,16	336	1,20	26,18	37,43	17,69a
2	14,0	0,5	1.043	3,26	3,20	351	1,20	27,18	37,52	22,92a
3	14,0	1,0	1.020	3,30	3,63	357	1,25	26,02	37,01	24,79a
4	14,0	1,5	986	2,93	3,05	351	1,25	28,10	37,93	21,60a
5	9,5	0,0	885	2,88	3,29	309	1,20	24,35	36,96	4,18b
6	9,5	0,5	849	2,84	3,42	290	1,17	24,81	37,45	4,42b
7	9,5	1,0	904	2,85	3,25	314	1,25	27,59	38,11	4,82b
8	9,5	1,5	871	3,05	3,59	316	1,27	25,08	37,03	6,99b
EEM			45,63	0,128	0,182	21,871	0,059	1,419	0,485	2,098
Efectos principales										
14,0			1.002a	3,11a	3,26	348a	1,22	26,87	37,47	21,75a
9,5			877b	2,90b	3,39	307b	1,22	25,46	37,39	5,10b
0,00			922	2,93	3,23	323	1,20	25,26	37,19	10,93
0,50			946	3,05	3,31	320	1,18	26,00	37,48	13,67
1,00			962	3,07	3,44	336	1,25	26,81	37,56	14,81
1,50			929	2,99	3,32	333	1,26	26,59	37,48	14,30
SEM										
1			952	2,71c	2,96b					
2			906	2,97b	3,32ab					
3			905	3,11ab	3,67a					
4			1000	3,10ab	3,16ab					
5			929	3,17a	3,51ab					
Fuente de variación										
			Valor de P							
PC			0,01	0,03	0,32	0,01	1,00	0,17	0,81	0,01
SECM			0,82	0,65	0,69	0,86	0,52	0,70	0,87	0,28
PC×SECM			0,62	0,10	0,10	0,88	0,98	0,39	0,22	0,38
SEM			0,10	0,01	0,01					
Prueba de efectos fijos										
Variable de respuesta		Fuente	GLN	GLD	F tipo III	P> F				
GDP		PC	1	24,2	14,97	0,01				
CAL		PC	1	23,8	5,34	0,03				
CAL		SEM	4	60,5	22,73	0,01				
CA		SEM	4	84,2	3,16	0,01				

a, b, c Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas (P≤0.05).

TRAT= tratamiento; PC= proteína cruda; SECM= secuestrante de micotoxinas; SEM= semana; EEM= error estándar de la media; GDP= ganancia diaria de peso; CAL= consumo de alimento; CA= conversión alimenticia; GCM= ganancia de carne magra; GD= grasa dorsal; AML= área de músculo *longissimus*; CM= carne magra; UREA= concentración de urea en plasma; GLN= grados de libertad del numerador; GLD= grados de libertad del denominador.

† Variables analizadas con PROC MIXED de SAS.

¶ Variables analizadas con PROC GLM de SAS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis. 15th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA. 37-38 pp. 1990.
- [2] BRUDEVOLD, A.B.; SOUTHERN, L.L. Low-protein, crystalline amino acid-supplemented, sorghum-soybean meal diets for the 10 to 20 kilogram pigs. **J. Anim. Sci.** 72:638-647. 1994.
- [3] CANH, T.T.; AARMINK, A.J.A.; SCHUTTE, J.B.; SUTTON, A.; LANGHOUT, D.J.; VERSTEGEN, M.W.A. Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission for slurry of growing-finishing pigs. **Livest. Prod. Sci.** 56:181-191. 1998.
- [4] CERVANTES, R.M.; CROMWELL, G. Adición de aminoácidos, vitaminas y minerales a dietas de sorgo-pasta de soya bajas en proteína, para cerdos en crecimiento. **Agrocien.** 31:143-148. 1997.
- [5] CHANEY, A.L.; MARBACH, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clin. Chem.** 8:130-132. 1962.
- [6] COMA, J.; CARRIÓN, D.; ZIMMERMAN, R. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. **J. Anim. Sci.** 73:472-481. 1995.
- [7] FICK, K.R.; MCDOWELL, L.R.; MILES, R.H.; WILKINS, N.S.; FUNK, J.D.; CONRAD, J.H.; VALDIVIA, R. Método colorimétrico B. Análisis de minerales por espectrofotometría de absorción atómica: Determinación de macrolementos. En: **Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales**. 2da. Ed. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Gainesville, Florida, EE.UU. 601-603, 701-702 pp. 1979.
- [8] FIGUEROA, J.L.; LEWIS, A.J.; MILLER, P.S.; FISCHER, R.L.; DIETRICHSEN, R.M. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acid including histidine, isoleucine, and valine. **J. Anim. Sci.** 81:1529-1537. 2003.
- [9] FIGUEROA-VELASCO, J.L.; CERVANTES-RAMÍREZ, M.; CUCA-GARCÍA, M.; MENDEZ-LÓPEZ, M. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. **Agrocien.** 38:383-394. 2004.
- [10] GARCIA, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana). 4^a Ed. México, D.F. 217 pp. 1988.
- [11] GÓMEZ, R.S.; LEWIS, A.J.; MILLER, P.S.; CHEN, H.Y. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low protein, amino acid supplemented diets at different feeding levels. **J. Anim. Sci.** 80:644-653. 2002.
- [12] KEPHART, K.B.; SHERRITT, G.W. Performance and nutrient balance in growing swine fed low-protein diets supplemented with amino acids and potassium. **J. Anim. Sci.** 68:1999-2008. 1990.
- [13] KERR, B.J.; SOUTHERN, L.L.; BIDNER, T.D.; FRIESEN, K.G.; EASTER, R.A. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. **J. Anim. Sci.** 81:3075-3087. 2003.
- [14] KNOWLES, T.A.; SOUTHERN, L.L.; BIDNER, T.D.; KERR, B.J.; FRIESEN, K.G. Effect of dietary fiber or fat in low-protein, crystalline amino acid-supplemented diets for finishing pigs. **J. Anim. Sci.** 76:2818-2832. 1998.
- [15] LE BELLEGO, L.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. **J. Anim. Sci.** 80:691-701. 2002.
- [16] LITTELL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUPS, W.W.; WOLFINGER, R.D. SAS System for Mixed Models. SAS Publishing. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. 633 pp. 2004.
- [17] NATIONAL PORK PRODUCERS COUNCIL (NPPC). **Procedures to evaluate market hogs**. 3rd Ed. National Pork Producers Council. Des Moines. Iowa, USA. 16 pp. 1991.
- [18] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient Requirement Tables. **Nutrient Requirements of Swine**. 10th Ed. National Academy Press. Washington, D.C. USA. 110-123 pp. 1998.
- [19] OTTO, E.R.; YOKOYAMA, M.; KU, P.K.; AMES, N.K.; TROTTIER, N.L. Nitrogen balance and ileal amino digestibility in growing pigs fed diets reduced in protein concentration. **J. Anim. Sci.** 81:1743-1753. 2003.
- [20] PLACINTA, C.M.; D'MELLO, J.P.F.; MACDONALD, A.M.C. A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. **Anim. Feed Sci. Technol.** 78:21-37. 1999.
- [21] STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE (SAS). Statistical Analysis System. Release 8.0. Cary, NC, USA. 943 pp. 1999.
- [22] SHRIVER, J.A.; CARTER, S.D.; SUTTON, A.L.; RICHERT, B.T.; SENNE, B.W.; PETTEY, L.A. Effects of adding fiber sources to reduce-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. **J. Anim. Sci.** 81(2):492-502. 2003.

- [23] SMITH, J.W. II; O'QUINN, P.R.; GOODBAND, R.D.; TOKACH, M.D.; NELSEN, J.L. Effects of low-protein, amino acid fortified diets formulated on a net energy basis on growth performance and carcass characteristics of pigs. **J. Appl. Anim. Res.** 15:1-16. 1999.
- [24] STEEL, D. R. G., TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. Analysis of variance I: one-way classification. **Principles and procedures of statistics a biometrical approach.** McGraw-Hill Co. 3rd Ed. 666 pp. 1997.
- [25] TEJADA, H.I. El problema de las micotoxinas en México. En: **X ciclo de conferencias internacionales sobre avicultura.** México, D.F., Junio 27-28. Asociación Mexicana de Nutrición Animal. 60-74 pp. 1991.
- [26] TEJADA, H.I. **Análisis de granos y cereales.** En: **Control de Calidad y Análisis de Alimentos para Animales.** Ed. Sistema de Educación Continúa en Producción Animal, A.C. México. 27-33 pp. 1992.
- [27] TRUJILLO, J.E.; MARTÍNEZ, M.; ZAMORA, V.; CORDEIRO, J.L.; SÁNCHEZ-TORRES, M.T.; CERVANTES, M.; CUCA, M.; FIGUEROA, J.L. Determinación del nivel de proteína en dietas sorgo-pasta de soya para cerdas en engorda. En: **XLI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria,** Morelos. 14-18 noviembre. México. 205 pp. 2005.
- [28] WARD, T.L.; SOUTHERN, L.L. Sorghum amino acid-supplemented diets for the 50-to 100-kilograms pigs. **J. Anim. Sci.** 73:1746-1753. 1995.