

Comportamiento productivo de lechones en respuesta a la composición de la dieta y la adición de enzimas. Consecuencias del peso al destete

Cristina Rodríguez Rodríguez^a

María Alejandra Pérez Alvarado^{b*}

José Antonio Cuarón Ibargüengoytia[†]^{a b}

^a Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores – Cuautitlán. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y la Salud Animal. Cuautitlán, Estado de México. México.

^b Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Km 1 carretera a Colón, 76280, Ajuchitlán, Colón, Querétaro. México.

* Autor de correspondencia: perez.maría@inifap.gob.mx; palvaradoa@hotmail.com

Resumen:

Se evaluó la respuesta a la adición de α -amilasa, serina-proteasa, β -glucanasa, pectinasa y hemicelulasa (EEX) a la dieta de lechones junto con dos esquemas de uso de soya (SOY). Con 552 cerdos, en 92 unidades experimentales (UE, corral con 6 cerdos), con peso y edad inicial de 6.14 ± 1.358 kg y 20 ± 0.83 días. En un diseño de bloques completos al azar se tuvieron 4 bloques (grupos de producción mensual) y los tratamientos fueron el arreglo factorial de dos niveles de EEX (si o no) y dos de pasta de soya (SOY), baja o alta, por fase de alimentación: F1, 12 o 24 % (7 días); F2, 16 o 32 % (14 días) y F3, 20 o 32 % (21 días). Semanalmente se estimaron el consumo de alimento, la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia. Diariamente se evaluó la consistencia de las heces (del 1 al 5: 1=secas a 5=líquidas). Lechones con las dietas EEX ganaron más peso ($P<0.02$), fueron más eficientes ($P<0.07$) y tuvieron mejor consistencia de las heces ($P<0.04$) en la primera semana. Al finalizar la evaluación, no se encontraron diferencias ($P>0.16$) en ninguno de los criterios evaluados. Tampoco se observó respuesta a SOY ($P>0.19$) o las interacciones SOY×EEX ($P>0.26$). Al explorar si el peso de los lechones al destete influyó en la respuesta, se

establecieron dos categorías (CAT) por el peso inicial de las UE: Ligeros, (4.44 ± 0.600 kg, 20 UE) y Pesados (6.73 ± 0.738 kg, 72 UE). Los ligeros, ganaron mejor en la primera semana y fueron más eficientes durante todo el periodo experimental ($P<0.03$). Independientemente del peso al destete, SOY no influyó en la productividad y, EEX solo dio una ventaja temporal.

Palabras clave: Destete, Enzimas exógenas, Lechones.

Recibido: 07/08/2020

Aceptado: 13/01/2025

Introducción

El destete es uno de los eventos de estrés más crítico en la vida de los cerdos por la separación de los lechones de su madre y la necesidad de suplir su nutrición con medios diferentes a la leche materna^(1,2). La leche, contiene alrededor de 20 % de materia seca, que a su vez se compone del 40 % de grasa (altamente digestible), 25 % de lactosa y no contiene almidón; en cambio, el alimento sólido es una mezcla de proteínas de origen animal y vegetal, polisacáridos no amiláceos, compuestos antinutricionales y almidón proveniente principalmente de granos de cereales que contienen aproximadamente 90 % de materia seca⁽³⁾. El cambio a un nuevo alimento, con base en almidón (granos de cereales), proteínas complejas de origen vegetal (pasta de soya), polisacáridos no amiláceos y compuestos antinutricionales como los fitatos, tienen como consecuencia un bajo consumo de alimento^(2,4-7), situación que complica la maduración digestiva, al ser la presencia de alimento un factor que promueve el desarrollo de la mucosa intestinal y estimula la producción de enzimas digestivas propias del animal^(5,8,9). Se ha estimado que solo la mitad de los cerdos, consumen alimento dentro de las primeras 8 h posteriores al destete, y 10 % no consumen nada hasta después de las 48 h^(10,11), siendo los lechones pequeños o aquellos con un menor consumo de leche durante la lactación los mejor preparados al destete⁽¹¹⁾ debido a la necesidad de una fuente de alimentación adicional durante lactación.

En lechones destetados, el cambio de sustratos demanda un incremento de amilasa y proteasas (diferentes a la renina)^(12,13,14). Una forma de complementar la insuficiencia endógena es con la adición de actividades enzimáticas exógenas^(15,16). La α -amilasa hace posible la hidrólisis del almidón, que de no ser digerido se convierte en una de las principales causas de la pérdida de estabilidad osmótica en el intestino, dando origen al fenómeno de diarrea “mecánica”^(17,18). Las carbohidrasas favorecen la reducción de la viscosidad de la digesta en el intestino delgado, debido al hidrólisis de polisacáridos no amiláceos^(19,20). La adición de proteasas puede contribuir con la reducción de metabolitos nitrogenados (nitrógeno amoniacial y aminas biógenas) asociados a la irritación de membranas, que están

en función de la proteína no digerida de la dieta^(20,21). La adición de fitasa se justifica por la presencia de fitatos existentes en los ingredientes de origen vegetal, que por su capacidad de quelación forman complejos insolubles con minerales de carga positiva y proteínas, lo que interfiere en su absorción^(22,23).

Este trabajo se condujo con la hipótesis de que la adición de una α -amilasa, una serina-proteasa y la adición de un complejo multienzimático con actividad de β -glucanasa, hemicelulasa y pectinasa, podrían mitigar el impacto de dos estrategias de inclusión de pasta de soya (bajo y alto) en la dieta de lechones recién destetados, además de minimizar los potenciales desafíos en el periodo de transición que representa el destete. Adicionalmente a la evaluación se exploró las consecuencias del peso al destete en la respuesta productiva a los tratamientos.

Material y métodos

El manejo de los animales y los procedimientos experimentales se realizaron cumpliendo los lineamientos de la NOM-062-ZOO-1999, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio (DOF, 2001)⁽²⁴⁾.

El trabajo se condujo en la Unidad Pecuaria Porcina, del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP. Situado en el poblado de Ajuchitlán, municipio de Colón, Querétaro, México, a 20° 41' 42" N, 100° 00' 54" O, a una elevación de 1,969 msnm. La temperatura promedio durante el experimento fue de 19.2 °C con una mínima y máxima registradas de 4.5 y 31°C y 22.8 % de humedad relativa promedio.

Se usaron un total de 552 lechones provenientes de cuatro bloques (grupos consecutivos de producción mensual) divididos en 92 unidades experimentales (UE, la unidad experimental fue un corral conformado con 6 lechones con una mezcla equilibrada entre hembras y machos castrados por tratamiento; 3 machos y 3 hembras por UE); se tuvieron 20 UE para el primer bloque y 24 UE para los 3 bloques posteriores. En todos los bloques, los lechones se identificaron al nacimiento mediante marcas permanentes en las orejas (muescas) y no tuvieron acceso a alimento predestete. El pesaje de los lechones se realizó el día previo al destete como procedimiento de aleatorización a los tratamientos en función de la camada de origen, sexo y peso corporal. La edad y peso promedio de los cerdos al inicio del experimento (destete) fue de 6.14 ± 1.358 kg de peso y 20 ± 0.83 días de edad.

El experimento se condujo durante 42 días dividido en dos etapas de 21 días cada una, con la finalidad de crear dos situaciones de estrés, una al momento del destete y la otra por el cambio de alojamiento, manejo ambiental y alimentación. Durante los primeros 21 días, los lechones se alojaron en una sala de destete, un edificio cerrado con ambiente controlado

mediante un calentador de gas y ventilación natural. El edificio cuenta con 24 jaulas elevadas de piso de rejilla de plástico con una superficie efectiva de 1.36 m². Cada jaula está provista de un bebedero de pivote y un comedero con 7 bocas de alimentación. En el destete, los lechones se recibieron con el termostato fijo a un mínimo de 30 °C y se redujo gradualmente en 4 °C por semana. De la cuarta hasta la sexta semana los lechones se alojaron en un edificio tipo frente abierto, sin más control ambiental que el uso de cortinas. El edificio cuenta con 24 corrales con piso sólido de concreto, con una superficie efectiva de 5.40 m². Cada corral tiene un comedero húmedo con tolva que incluye un bebedero de pivote en el plato de consumo y un bebedero de pivote adicional en la parte opuesta del comedero. La identidad de las UE se mantuvo durante toda la evaluación.

El programa de alimentación consistió en tres Fases (Cuadro 1): Fase 1, con una duración de 7 días a partir del destete; Fase 2, durante 14 días y Fase 3 por los últimos 21 días de la evaluación. El experimento se condujo conforme a un diseño de bloques completos al azar, en el que los tratamientos consistieron en un arreglo factorial (2×2), resultando de 2 estrategias de inclusión (baja o alta) de pasta de soya (SOY) en la dieta: Fase 1, 12 % (baja SOY) o 24 % (alta SOY); Fase 2, 16 % (baja SOY) o 32 % (alta SOY); y Fase 3, 20 % (baja SOY) o 32 % (alta SOY); y la adición o no de enzimas exógenas (EEX), resultando en un total de cuatro tratamientos.

Cuadro 1: Dietas experimentales y su composición nutricional*

Ingredientes kg/t Nivel de pasta de soya, %	Fase 1		Fase 2		Fase 3	
	12.00	24.00	16.00	31.70	20.00	32.00
Sorgo, grano (8.5%)	26.90	23.48	30.43	21.25	43.33	37.00
Maíz, amarillo (8%)	28.00	24.00	28.00	28.00	20.00	20.00
Soya, pasta (47%)	12.00	24.00	16.00	31.70	20.00	32.00
Leche, suero	16.20	16.20	8.00	8.00	---	---
Pescado, harina	7.00	---	7.00	---	7.00	---
Canola, pasta (36%)	3.00	3.00	4.00	4.00	5.00	5.00
Canola, aceite	3.50	5.10	3.50	3.50	---	---
Sebo	-	---	-	---	2.20	2.60
Fosfato, mono y dicálcico	0.55	1.24	0.57	1.23	0.24	0.91
L-Lisina·HCl	0.69	0.70	0.55	0.45	0.43	0.44
Calcio, carbonato	0.53	0.75	0.49	0.72	0.54	0.78
Sal	0.40	0.40	0.40	0.40	0.36	0.36
L-Treonina	0.24	0.23	0.18	0.11	0.14	0.13
DL-Metionina	0.20	0.23	0.12	0.10	0.08	0.10

Dartamox premix ^a	0.10	0.10	0.10	0.10	---	---
Denagard CTC ^b	---	---	---	---	0.20	0.20
L-Valina	0.10	---	0.10	---	---	---
Minerales traza, premezcla ^c	0.10	0.10	0.08	0.08	0.09	0.10
Vitaminas, premezcla ^d	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
L-Isoleucina	0.08	0.08	0.08	---	---	---
Colina - HCl, 60%	0.07	0.07	0.07	0.07	0.10	0.10
L-Triptófano	0.06	0.04	0.05	0.01	0.01	---
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado (ajustado al 90% de materia seca)						
EM, Mcal/kg	3.43	3.48	3.42	3.42	3.35	3.35
EN, Mcal/kg	2.55	2.55	2.54	2.46	2.48	2.43
Proteína cruda, %	18.69	19.33	20.02	21.99	21.43	22.16
Lisina total, %	1.55	1.58	1.51	1.56	1.49	1.52
Lisina digestible, %	1.38	1.38	1.32	1.32	1.28	1.28
Treonina digestible, %	0.87	0.87	0.83	0.83	0.82	0.82
Calcio total, %	0.68	0.68	0.65	0.65	0.60	0.60
Fósforo total, %	0.61	0.61	0.60	0.60	0.53	0.53
Fósforo digestible, %	0.40	0.40	0.37	0.37	0.27	0.27

* Todas las dietas incluyeron 0.20 kg/t de Ronozyme® Hiphos (GT).

^a Amoxicilina trihidratada (200 ppm).

^b Fumarato hidrogenado de tiamulina (100 ppm) y clortetraciclina (300 ppm).

^c La premezcla de minerales aportó los siguientes elementos, en mg/kg de premezcla: Co (carbonato), 0.60; Cu (sulfato), 12; Fe (sulfato), 100; I (EDDI), 0.80; Mn (sulfato), 33; Se, 0.25 (selenito de sodio); Zn, 120 (sulfato).

^d La premezcla de vitaminas aportó las siguientes concentraciones por kilo de premezcla: vitamina A 13,300 UI; vitamina D³ 3,700 UI; vitamina E 160 mg; vitamina K 9.38 mg; biotina 0.67 mg; cianocobalamina 0.07 mg; ácido fólico 5.30 mg; niacina 66.70 mg; ácido pantoténico 46.70 mg; piridoxina 6.67 mg; riboflavina 12.00 mg; tiamina 4.00 mg; ácido ascórbico 266.70 mg.

Todos los tratamientos incluyeron 200 g/t de una 6-fitasa (Ronozyme® HiPhos, DSM Nutritional products México) con una actividad de 10,000 unidades de fitasa (FYT) por gramo de producto, proveniente de *Citrobacter braakii* y expresada en *Aspergillus oryzae*. Las enzimas que se usaron adicionalmente para conformar los tratamientos fueron: 300 g/t de un complejo multienzimático (Ronozyme® VP, DSM Nutritional products México) que comprende las siguientes actividades por gramo de producto: β-glucanasa; con actividad de 5,000 unidades, pectinasa; con actividad de 50 unidades y una hemicelulasa, todas provenientes de *Aspergillus aculeatus*; 150 g/t de una α-amilasa (Ronozyme® HiStarch, DSM Nutritional products México) que aportó una actividad de 90 unidades por gramo de

producto, proveniente de *Bacillus licheniformis*, y 200 g/t de una serina-proteasa (Ronozyme® Proact, DSM Nutritional products México) con una actividad de 70,000 unidades por gramo, producida de *Nocardipsis prasina* y expresada en *Bacillus licheniformis*.

Para controlar problemas infecciosos endémicos en el sitio experimental (*Haemophilus parasuis* y *Pasterella sp.*), se incluyó amoxicilina trihidratada (400 ppm, Dartamox® premix, Animal Care Products) en la Fase de alimentación 1 y 2, así como fumarato hidrogenado de tiamulina (100 ppm) más clortetraciclina (300 ppm) en la Fase 3 (Denagard CTC®, Elanco Animal Health).

Diariamente se registró el alimento ofrecido y al finalizar la semana se pesaron los remanentes del comedero para estimar por diferencia el consumo diario de alimento (CDA); al inicio del periodo experimental y al finalizar cada semana se pesaron los lechones individualmente para estimar la ganancia diaria de peso (GDP) y la eficiencia alimenticia se calculó como la ganancia en función del consumo (GxC). Diario, después de la primera oferta de alimento, se calificó la consistencia promedio de las heces por UE, usando una escala subjetiva del 1 al 5⁽²⁵⁾, en donde: 1= heces secas y duras, 2= heces normales, 3= heces pastosas, 4= heces semilíquidas y 5= heces líquidas.

Las dietas se formularon a partir del análisis de la materia prima, mediante programación lineal a costo mínimo (Nutrion®) y se elaboraron en forma de harina. Los principales ingredientes fueron granos de cereales (maíz y sorgo), pastas de oleaginosas (soya y canola), suero de leche y harina de pescado. En el Cuadro 1, se detallan las dietas experimentales y algunos de sus nutrientes. Con fines de constatación y control de calidad, en laboratorio se determinó la materia seca (MS), proteína cruda (PC), calcio (Ca) y fósforo (P) totales, conforme los procedimientos 934.01, 976.05, 927.02 y 964.07 del AOAC⁽²⁶⁾. Los niveles calculados de energía metabolizable (EM) fueron: Fase 1= 3.45, Fase 2= 3.42 y Fase 3= 3.35 Mcal/kg de alimento estandarizado al 90 % de materia seca. Los niveles de lisina digestible (digestibilidad ileal estandarizada) se establecieron en Fase 1, 1.38 %; Fase 2, 1.32 % y Fase 3, 1.28 % (ajustado al 90 % de materia seca). Por la adición de fitasa, la concentración de fósforo digestible para la formulación se redujo en 0.1 unidades porcentuales, las concentraciones de calcio se ajustaron para una relación Ca:P entre 1 y 1.15. El resto de los nutrientes cumplió con las recomendaciones del NRC 2012⁽²⁷⁾.

Los datos se analizaron conforme a un diseño de bloques completos al azar (donde cada bloque consistió en un grupo consecutivo de partos mensuales) con un arreglo factorial (2×2), distinguiendo los efectos mayores de la estrategia de inclusión de pasta de soya (SOY), de enzimas exógenas (EEX) y su posible interacción (SOY×EEX). Las variables de respuesta fueron: CDA, GDP, GxC y consistencia de las heces.

El modelo estadístico usado fue el siguiente:

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

Donde:

Y_{ijk} = variable respuesta.

$i = 1, 2, \dots, a$

μ = media general.

A_i = efecto de la adición de SOY al nivel i.

$j = 1, 2, \dots, b$

B_j = efecto de la adición de EEX al nivel j.

$(AB)_{ij}$ = efecto de la interacción SOY×EEX exógenas al nivel i, j.

E_{ijk} = error aleatorio.

Al finalizar la evaluación, para distinguir la respuesta del peso al destete a los tratamientos, se clasificaron las UE en dos categorías (CAT): Ligeros, siendo las UE que pesaran 1 desviación estándar por debajo de la media y Pesados, el resto de las UE.

Se usaron las rutinas del paquete estadístico de SAS (v. 9.3)⁽²⁸⁾. Con los procedimientos UNIVARIATE para estudiar la normalidad y homogeneidad de varianzas; GLM para el análisis de varianza de los parámetros productivos (CDA, GDP, G×C y consistencia de las heces); MIXED⁽²⁹⁾ para el estudio de las respuestas en tiempo del peso corporal por UE y su desviación estándar y REG para someter el peso corporal a un análisis de regresión, en el que previamente con contrastes polinómicos ortogonales se distinguieron los efectos lineales, cuadráticos y cúbicos más interesantes, a fin de predecir el peso corporal en función de los días de edad por CAT. Los resultados se presentan como las medias de mínimos cuadrados de la interacción SOY×EEX y de las categorías de peso de los lechones al destete.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2, se presenta el comportamiento productivo acumulado de los lechones durante los 42 días de la evaluación. No se observó interacción SOY×EEX para ninguna de las variables evaluadas ($P>1.00$). En la respuesta de los lechones a los 7 días posdestete, el CDA fue el mismo ($P>0.66$) para los animales que consumieron el nivel alto o bajo de SOY y la adición o no de EEX; pero, los animales que consumieron la dieta con EEX ganaron más peso ($P<0.02$; EEM, 0.007; 30 vs 10 g/día) lo que resultó en que los cerdos que recibieron EEX tuvieran una mejor eficiencia alimenticia ($P<0.07$; EEM, 0.074; 0.25 vs 0.11 kg). Sin embargo, los efectos asociados a EEX fueron transitorios al ser observados solo durante la primera semana posdestete, cuando el CDA fue bajo ($0.11 \text{ kg} \pm 0.019 \text{ kg}$). Un pobre consumo de alimento dentro de las primeras 24 a 48 h posdestete provoca la degeneración de la mucosa intestinal (enterocitos), lo que induce la disminución de las enzimas digestivas del borde de cepillo y la actividad de las enzimas pancreáticas^(30,31,32), así la presencia de las enzimas exógenas (EXX) pudo haber actuado para complementar la incapacidad digestiva del lechón,

lo que explicaría las mejoras en GDP y GxC al mismo consumo durante los primeros 7 días posdestete.

Cuadro 2: Comportamiento productivo de lechones destetados en respuesta a los tratamientos^{a,b}

Inclusión de pasta de soya ^c	Baja		Alta		EEM ^d	SOY P<	EXX P<	SOY×EXX P<
Inclusión de enzimas	No	Si	No	Si				
Número de observaciones	23	23	23	23				
Peso inicial, kg	6.25	6.22	6.24	6.24	0.246	0.99	0.94	0.94
Respuesta a los 7 días posdestete (día 0 a día 7)								
Consumo de alimento, kg/día	0.11	0.11	0.11	0.11	0.003	0.19	0.43	1.00
Ganancia de peso, kg/día	0.01	0.03	0.01	0.03	0.007	0.71	0.02	0.60
Eficiencia alimenticia, kg	0.11	0.22	0.11	0.28	0.074	0.68	0.07	0.69
Consistencia de las heces ^e	2.68	2.90	3.02	3.07	0.108	0.83	0.04	0.26
Respuesta acumulada a los 21 días posdestete (día 0 a día 21)								
Consumo de alimento, kg/día	0.24	0.24	0.24	0.25	0.006	0.45	0.56	0.94
Ganancia de peso, kg/día	0.15	0.17	0.15	0.17	0.011	0.40	0.38	0.45
Eficiencia alimenticia, kg	0.66	0.73	0.63	0.63	0.056	0.27	0.52	0.50
Consistencia de las heces	3.78	3.54	3.89	3.78	0.154	0.79	0.31	0.31
Respuesta acumulada a los 42 días posdestete (día 0 a día 42)								
Consumo de alimento, kg/día	0.60	0.57	0.59	0.59	0.013	0.82	0.17	0.46
Ganancia de peso, kg/día	0.34	0.33	0.32	0.33	0.011	0.46	0.78	0.45
Eficiencia alimenticia, kg	0.57	0.58	0.55	0.57	0.018	0.32	0.59	0.66
Consistencia de las heces	2.40	2.40	2.36	2.42	0.076	0.25	0.91	0.76

^a Medias de mínimos cuadrados provenientes de lechones machos y hembras (50% machos y 50% hembras).

^b Todos los tratamientos incluyeron fitasa (0.20 kg/t).

^c La inclusión de pasta de soya fue: Fase 1, 12%; Fase 2, 16%, Fase 3, 20% para las dietas bajas en soya y Fase 1, 24%; Fase 2, 31.7%; Fase 3, 32% para las dietas altas en soya.

^d EEM = error estándar de la media.

^e 1= secas y duras, 2= normales, 3= pastosas, 4= semilíquidas, 5= líquidas.

Las respuestas acumuladas de las variables productivas a los 21 y 42 días posdestete fueron las mismas independientemente del nivel de EEX o SOY ($P>0.91$), tampoco se encontró interacción SOY×EEX ($P>0.94$). Esto sugiere una rápida adaptación al consumo de pasta de soya sin el efecto de las enzimas^(33,34). La consistencia de las heces durante la primera semana posdestete fue mejor para los lechones que no consumieron EEX ($P<0.04$; Sin, 2.85 vs Con, 2.99; EEM, 0.108) sin importar el nivel de SOY ($P>0.83$); este parámetro permitió calificar subjetivamente procesos digestivos provocados por el sobreceso de nutrientes que podrían ser aprovechados por la fermentación bacteriana en el colon, dando origen a un aumento en la presión osmótica y secreción (diarrea mecánica)^(35,36); sin embargo, al ser una calificación subjetiva por UE, ambos resultados indican que las heces tuvieron una consistencia entre normal y pastosa (2.92 ± 0.518) y de ninguna manera se sugiere la presencia de diarreas, que se calificaría como heces semilíquidas o líquidas (calificación 4-5). A partir del día-8 posdestete y hasta el día 14, se notó un aumento en la presencia de heces líquidas en todas las UE, por lo que en la respuesta acumulada a los 21 días posdestete no se encontraron diferencias significativas en la calificación de las heces por la adición de SOY ($P>0.79$), EEX ($P>0.31$) ni en la interacción SOY×EEX ($P>0.31$), observando en todos los tratamientos heces entre pastosas y semilíquidas (3.75 ± 0.739); la desaparición de heces líquidas después del día 14 se notó hasta finalizar el periodo experimental, en donde todos los tratamientos mostraron tener una consistencia normal (2.40 ± 0.364). En suma, los resultados muestran un beneficio de las actividades enzimáticas (amilasa, proteasa, glucanasa, hemicelulasa y pectinasa) adicionales a la acción de fitasa, y los efectos se notaron solo durante la primera semana, tiempo en el que los animales aprendieron a consumir alimento^(10,11).

Como se describió en material y métodos, al finalizar el experimento se indagó si el peso al destete influyó en la respuesta a los tratamientos, por lo que se clasificaron las UE en función del peso al destete en dos categorías (CAT): Ligeros vs Pesados, resultando en un peso promedio de los ligeros= 4.44 ± 0.600 kg vs pesados= 6.72 ± 0.738 kg; teniendo 20 UE totales (5 UE/Tratamiento) de lechones ligeros (22 % de la población) y 72 UE totales (18 UE/tratamiento) de lechones pesados (78 % de la población). En el Cuadro 3, se muestran los resultados al analizar CAT y su interacción con los tratamientos. En la primera semana posdestete, los lechones que se calificaron como ligeros consumieron aproximadamente un 9 % menos de alimento que lo consumido por los cerdos pesados ($P<0.01$), y mostraron una mejor GDP ($P<0.01$; EE, 0.037; ligeros= 40 vs pesados= 20 g/día) y mayor GxC ($P<0.01$; EE 0.353; ligeros= 0.44 vs pesados= 0.12 kg), quizás porque proporcionalmente consumieron más alimento (en función de su peso corporal) que los lechones pesados (2.30 vs 1.60 % del peso al destete en ligeros y pesados respectivamente). La CAT no influyó en la estrategia de utilización de SOY en la dieta ($P>0.15$), ni se encontró alguna interacción entre los tratamientos y CAT ($P>0.47$).

Cuadro 3: Comportamiento productivo de lechones al destete en función a la categoría de peso^a

Categoría (CAT) ^b	Ligeros	Pesados	EE ^c	CAT <i>P</i> <	EEX ^d <i>P</i> <	SOY ^e <i>P</i> <	INT* <i>P</i> <
Número de observaciones	20	72					
Peso inicial, kg	4.44	6.72	0.733	0.01	0.94	0.07	0.95
Respuesta a los primeros 7 días posdestete (día 0 a día 7)							
Consumo de alimento, kg/día	0.10	0.11	0.018	0.01	0.29	0.40	0.86
Ganancia de peso, kg/día	0.04	0.02	0.037	0.01	0.03	0.95	0.88
Eficiencia alimenticia, kg	0.44	0.12	0.353	0.01	0.06	0.83	0.81
Respuesta acumulada a los 21días posdestete (día 0 a día 21)							
Consumo de alimento, kg/día	0.21	0.28	0.037	0.01	0.34	0.83	0.99
Ganancia de peso, kg/día	0.16	0.17	0.030	0.46	0.40	0.23	0.78
Eficiencia alimenticia, kg	0.79	0.64	0.170	0.01	0.97	0.25	0.98
Respuesta acumulada a los 42 días posdestete (día 0 a día 42)							
Consumo de alimento, kg/día	0.55	0.57	0.073	0.34	0.27	0.98	0.91
Ganancia de peso, kg/día	0.33	0.34	0.034	0.20	0.96	0.16	0.02
Eficiencia alimenticia, kg	0.60	0.61	0.085	0.76	0.37	0.34	0.47

^a Medias de mínimos cuadrados provenientes de lechones machos y hembras (50 % machos castrados y 50 % hembras).

^b CAT= categorías de peso al destete: ligeros menos de 5.05 kg al destete; pesados más de 5.051 kg al destete.

^c EE= raíz cuadrada del cuadrado medio del error.

^d EEX= enzimas.

^e SOY= soya: Fase 1, 12 %; Fase 2, 16 %, Fase 3, 20 % para las dietas bajas en soya y Fase 1, 24 %; Fase 2, 31.7 %; Fase 3, 32 % para las dietas altas en soya.

* INT= interacción SOY×EEX×CAT.

Al analizar las respuestas en el crecimiento por el uso de EEX, fueron independientes de la CAT de los cerdos y se observan solo durante la primera semana, cuando la insuficiencia digestiva transitoria es más notoria en los lechones^(12,37). El haber reducido la variación en el peso al destete de las UE (por los procedimientos de aleatorización), hizo que las consecuencias del estrés ambiental y social fueran menores en los lechones ligeros. El crecimiento de los cerdos por CAT se muestra en la Figura 1A, como el peso promedio por UE en función del tiempo ± 1 desviación estándar (barras de error). Las líneas de tendencia representan el incremento del peso corporal en el tiempo, y muestran el crecimiento convergente de los lechones ligeros en relación con los pesados, en donde, al destete, los lechones ligeros pesaban el 66 % de los pesados y 42 días después, el 88 %. El efecto que mejor describe el comportamiento del peso fue el cuadrático ($P<0.01$), lo que se muestra en la Figura 1A. Esta respuesta es relevante y se explica porque en ambas CAT el cambio en el peso corporal en función del tiempo fue lento hasta el día 35 de vida, conforme aumentó el

tiempo el crecimiento se aceleró. Con la siguiente ecuación se describe la tendencia de comportamiento del peso corporal de los lechones ligeros:

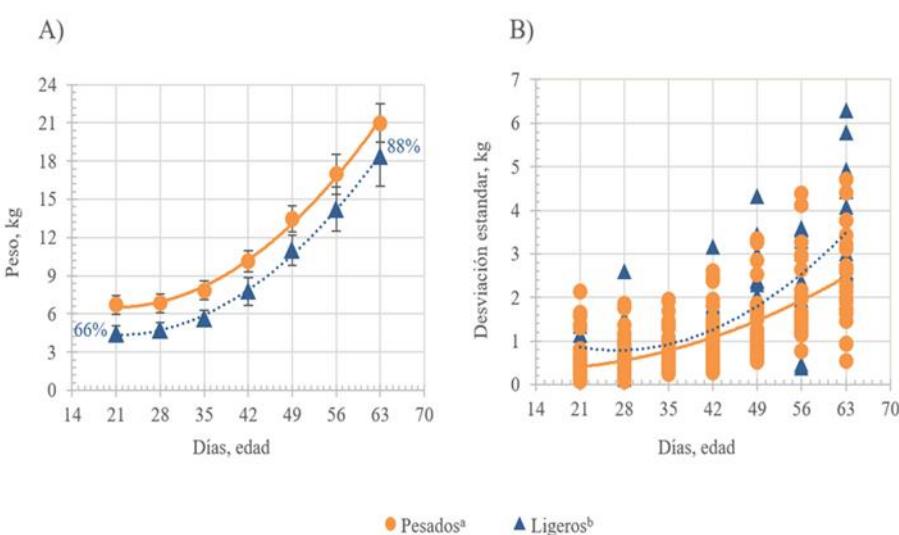
$$Y = (8.211 \pm 1.096) - (0.356X \pm 0.058) + (0.008X^2 \pm 0.001), P < 0.001, R^2 = 0.94.$$

Para los lechones pesados la ecuación que describe el crecimiento fue:

$$Y = (10.844 \pm 0.484) - (0.383X \pm 0.026) + (0.009X^2 \pm 0.001), P < 0.001, R^2 = 0.96.$$

Donde para ambas ecuaciones: Y= peso corporal, kg. X= días de edad. \pm = desviación estándar del parámetro.

Figura 1: Comportamiento del peso y la desviación estándar de los cerdos en función de la edad y categoría de peso al destete (lechones ligeros y pesados)



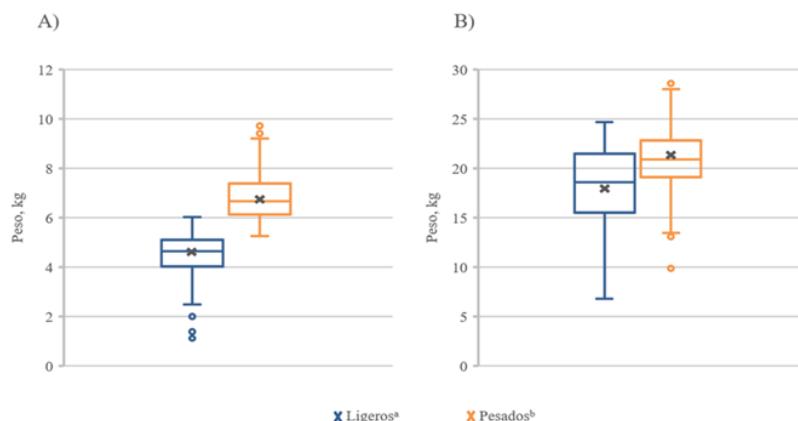
A) Peso corporal promedio por UE en función de la edad y por categorías de peso al inicio del experimento \pm una desviación estándar (barras de error); pesados, 6.72 ± 0.738 kg y ligeros, 4.44 ± 0.600 kg. Al destete (20 \pm 0.83 días) los lechones ligeros pesaban el 66 % de los pesados, y al día 42 posdestete, el 88 %. B) Desviación estándar por UE en función de la edad en días por categoría de peso.

En el caso de la variación representada en la Figura 1B, como la desviación estándar de cada una de las UE en el tiempo, se observó que ambas CAT mostraron una tendencia de respuesta cuadrática ($P < 0.01$). Debe notarse, que las desviaciones no son muy diferentes al día 35 de edad y es a partir del día 42 de vida, cuando los lechones se cambiaron de la sala de destete al edificio tipo frente abierto, que las líneas de tendencia muestran con mayor claridad la divergencia; UE de lechones ligeros no tuvieron la capacidad de recuperarse de su condición de lechones pequeños al enfrentar los nuevos eventos de estrés, mientras que gran parte de los animales de este grupo pudieron alcanzar el peso corporal de los lechones pesados. Esto ha sido discutido por Paredes *et al*⁽³⁸⁾, en donde los lechones de hasta 2.5 desviaciones estándar por debajo de la media de la población al momento del nacimiento, tienen la capacidad de sobreponerse a su condición de lechones pequeños, y más del 40 % de estos

lechones pueden compensar el crecimiento que no lograron previamente, lo que repercute en el peso al destete.

Para mostrar esto con mayor claridad, se presentan las Figuras 2A y 2B. En los diagramas de cajas se representan los parámetros de tendencia central como la media, moda, y se ejemplifica la forma y distribución del peso individual de los lechones de ambas CAT al momento del destete (2A) y al día 42 de vida (2B). Al destete, es notoria la intervención en la distribución por las prácticas de aleatorización, donde incluso, los lechones ligeros mostraron tener una asimetría negativa con un 2.5 % de lechones anormalmente ligeros. En cambio, los lechones pesados tuvieron una asimetría positiva, con un 0.46 % de lechones anormalmente pesados, lo que se explica, al tener un mayor número de lechones de menor peso conformando las UE que lechones pesados, y lo podemos observar en la gráfica 2A, donde se representan como observaciones atípicas. Al día 42 posdestete, la asimetría negativa prevaleció en los lechones ligeros con un aumento en la proporción de lechones que llegaron a alcanzar algunos de los de mayor peso, mientras que los lechones pesados mostraron una ligera asimetría negativa (-0.397). La compensación de los lechones de menor peso, pudo ser producto de la disminución de la competencia por la remoción de los lechones pesados, lo que se manifestó en la capacidad de recuperación en etapas posteriores al destete⁽³⁹⁾. Al respecto debe notarse que los lechones ligeros fueron los primeros en consumir alimento, lo que se manifestó con una mejor eficiencia ($P<0.01$; EE, 0.353; 0.44 vs 0.12, Cuadro 3). Además, la GDP de los lechones ligeros que consumieron la dieta con la adición de enzimas fue 50 % más que la de los lechones pesados ($P<0.01$; EE, 0.037; 40 vs 20 g/día, Cuadro 2) durante la primera semana posterior al destete.

Figura 2: Distribución del peso corporal al destete (día 0) y al final de la evaluación (día 42 posdestete) de la población de cerdos en función de la categoría de peso al destete (lechones ligeros y pesados)



A) Distribución segregada por categoría de peso individual al destete. La marca (x) indica la media de cada categoría de peso; ligeros, 4.77 ± 0.788 kg y pesados, 6.77 ± 0.906 kg.

B) Distribución por categoría del peso corporal al día 42 posdestete la marca (x) indica la media de cada categoría de peso; ligeros, 18.14 ± 3.926 kg y pesados, 21.30 ± 2.985 kg.

Conclusiones e implicaciones

El incremento en la concentración de pasta de soya en la dieta no afectó el comportamiento productivo de los lechones posdestete. Independientemente del nivel de pasta de soya en la dieta y del peso de los animales al destete, el beneficio en las variables productivas (ganancia diaria de peso y eficiencia alimenticia) fue claro en los lechones que consumieron la dieta con la adición de enzimas exógenas solo durante la primera semana; esto sugiere la complementación de la transitoria incapacidad digestiva. Además, al formar las unidades experimentales más homogéneas en cuestión de peso, se mostró una mejor ganancia de peso y eficiencia alimenticia en los lechones ligeros, por la reducción de la competencia con lechones de mayor peso.

Agradecimientos y conflicto de interés

Los autores agradecen al Dr. Sergio Raúl Fernández Tinoco por su apreciable colaboración en la revisión de este escrito, así como al MC. Jorge Cervantes López por su invaluable apoyo en la obtención de recursos.

Las autoras agradecen al Dr. José Antonio Cuarón Ibargüengoytia por su incansable esfuerzo por difundir siempre el conocimiento científico y por todas sus enseñanzas Q.E.P.D.

Ninguno de los autores declara conflicto de interés.

Literatura citada:

1. Funderburke DW, Seerlefl RW. The effects of postweaning stressors on pig weight change, blood, liver and digestive tract characteristics. *J Anim Sci* 1990;155-162.
2. Williams IH. Growth of the weaned pig. In: Pluske JR, *et al*, editors. *The weaner Pig: Concepts and consequences*. Edited Collection. Wageningen: Wageningen Academic Publishers; 2003:3-20.
3. Mavromichalis I. Applied nutrition for young pigs. *Sow's Milk*. 1rst ed. Wallingford, UK, Cambridge, MA; 2006.
4. Wilson RH, Leibholz J. Digestion in the pig between 7 and 35 d of age. The digestion of dry matter and the PH of digesta in pigs given milk and soya-bean proteins. *B J Nutr* 1981;45:321-336.
5. Pluske JR, Hampson DJ, Williams IH. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. *Livest Prod Sci* 1997;51:215-236.
6. Lallès JP, Bosi P, Smidt H, Stokes CR. Weaning — A challenge to gut physiologists. *Livest Sci* 2007;108:82-93.

7. Park S, Li W, St-Pierre B, Wang Q, Woyengo TA. Growth performance, nutrient digestibility, and fecal microbial composition of weaned pigs fed multi-enzyme supplemented diets. *J Anim Sci* 2020;1–10.
8. Kelly BYD, Smyth JA, McCracken KJ. Digestive development of the early-weaned pig. *Br J Nutr* 1991;65(2):169–180.
9. Núñez MC, Bueno JD, Ayudarte MV, Almendros A, Ríos A, Suárez MD, Gil A. Dietary restriction induces biochemical and morphometric changes in the small intestine of nursing piglets. *J Nutr* 1996;126:933–944.
10. Brooks PH, Moran CA, Beal JD, Demeckova V, Campbell A. Liquid feeding for the young piglet, in: Varley MA, Wiseman J. editors. *The weaner pig: nutrition and management*, CAB International, Wallingford, UK. 2001:153–178.
11. Bruininx EMAM, Binnendijk GP, Peet-Schwering van der CMC, Schrama JW, Hartog den LA, Everts H. *et al.* Effect of creep feed consumption on individual feed intake characteristics and performance of group-housed weanling pigs. *J Anim Sci* 2002;80(6):1413–1418.
12. Desnuelle P, Reboud JP, Abdeljlil BA. Influence of the composition of the diet on the enzyme content of rat pancreas. 1st ed. London: Novartis Foundation Symposia; 1962.
13. Howard BYF, Yudkin J. Effect of dietary change upon the amylase and trypsin activities of the rat pancreas. *Br J Nutr* 1963;17:281–295.
14. Corring T, Aumatritre A, Durand G. Development in digestive enzymes in the piglets from birth to 8 weeks. *Nutr Metab* 1978;22(4):231–243.
15. De Lange CFM, Pluske JR, Gong J, Nyachoti CM. Strategic use of feed ingredients and feed additives to stimulate gut health and development in young pigs. *Livest Prod Sci* 2010;134:124–134.
16. Adeola O, Cowieson AJ. Board-invited review: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. *J Anim Sci* 2011;89:3189–3218.
17. Kim JC, Mullan BP, Hampson DJ, Pluske JR. Addition of oat hulls to an extruded rice-based diet for weaner pigs ameliorates the incidence of diarrhoea and reduces indices of protein fermentation in the gastrointestinal tract. *Br J Nutr* 2008;99:1217–1225.
18. Heo JM, Opapeju FO, Pluske JR, Kim JC, Hampson DJ, Nyachot CM. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: A review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2012;97(2):207–237.

19. Vahjen W, Osswald T, Schäfer K, and Simon O. Comparison of a xylanase and a complex of no starch polysaccharide-degrading enzymes with regard to performance and bacterial metabolism in weaned piglets. *Arch Anim Nutr* 2007;61:90-112.
20. Kim JC, Hansen CF, Mullan BP, Pluske JR. Nutrition and pathology of weaner pigs: Nutritional strategies to support barrier function in the gastrointestinal tract. *Anim Feed Sci Technol* 2012;173:3-16.
21. Heo JM, Kim JC, Hansen CF, Mullan BP, Hampson DJ, Pluske JR, Monenthin R, *et al*, editors. Feeding a diet with a decreased protein content reduces both nitrogen content in the gastrointestinal tract and post-weaning diarrhea but does not affect apparent nitrogen digestibility in weaner pigs challenged with an enterotoxigenic strain of *Escherichia coli*. *Anim Feed Sci Technol* 2012;160:148-159.
22. Cromwel GL, Stahlp TS, Coffey RD, Monegue HJ, Randolph JH. Efficacy of phytase in improving the bioavailability of phosphorus in soybean meal and corn-soybean meal diets for pig. *J Anim Sci* 1992;71(7):1831-1840.
23. Adeola O, Lawrence BV, Sutton AL, Cline TR. Phytase-induced changes in mineral utilization in zinc-supplemented diets for pigs. *J Anim Sci* 1995;73:3384-3391.
24. Diario Oficial de la Federación. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. Diario Oficial de la Federación 2001(miércoles 22 de agosto).
25. Montagne L, Cavaney FS, Hampson DJ, Lalle`s JP, Pluske JR. Effect of diet composition on postweaning colibacillosis in piglets. *J Anim Sci* 2004;82:2364–2374.
26. AOAC. Official Methods of Analysis. 15th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists. 1990.
27. NRC. Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised ed. Washington, DC: The National Academies Press; 2012.
28. SAS User´s Guide. Statistics (Version 9.3, 2nd Ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 2011.
29. Littell RC, Henry PR, Ammerman CB. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J Anim Sci* 2018;1216-1231.
30. Cera KR, Mahan DC, Cross RF, Reinhart GA, Whitmoyer RE. Effect of age, weaning and postweaning diet on small intestinal growth and jejunal morphology in young swine. *J Anim Sci* 1988;66:574-584.

- 31 Hampson DJ, Health P, Smith WC. Influence of creep feeding and dietary intake after weaning on malabsorption and occurrence of diarrhoea in the newly weaned pig. *Res Vet Sci* 1986;4:63-69.
32. McCracken BA, Spurlock ME, Roos MA, Zuckerann FA. Weaning anorexia may contribute to local inflammation in the piglet small intestine. *J Nutr* 1999;129:613-619.
33. Friesen KG, Goodband RD, Nelssen JL, Blecha F, Reddy DN, Reddy PG, Katset LJ. The effect of pre- and postweaning exposure to soybean meal on growth performance and on the immune response in the early-weaned pig. *J Anim Sci* 1993;71:2089-2098.
34. Smith BN, Dilger RN. Immunomodulatory potential of dietary soybean-derived isoflavones and saponins in pigs. *J Anim Sci* 2018;96:1288-1304.
35. Holland RE. Some infectious causes of diarrhea in young farm animals. *Clin Microbiol Rev* 1990;3:345-375.
36. Schreurs HMGVB, Vellenga L, Wensing Th, Breukink HJ. The pathogenesis of the post - weaning syndrome in weaned piglets; a review. *Vet Q* 2011;14:29-34.
37. Kim SW, Knabe DA, Hong KJ, Easter RA. Use of carbohydrases in corn – soybean meal-based nursery diets. *J Anim Sci* 2003;2496-2504.
38. Paredes SP, Jansman AJM, Verstegen MWA, Awati A, Buist W, Hartog LA. Analysis of factors to predict piglet body weight at the end of the nursery phase. *J Anim Sci* 2010;3243-3251.
39. Douglas SL, Edwards SA, Sutcliffe E, Knap PW, Kyriazakis I. Identification of risk factors associated with poor lifetime growth performance in pigs. *J Anim Sci* 2013;4123-4132.