

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN
ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN ENGORDA SUPLEMENTADOS CON ÁCIDO LÁURICO EN LA DIETA

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

JUAN DANIEL FONSECA GÓMEZ

Bajo la supervisión de:

MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA, Ph. D.



APROBADA



Chapingo, Estado de México, julio de 2020

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN ENGORDA
SUPLEMENTADOS CON ÁCIDO LÁURICO EN LA DIETA**

Tesis realizada por **JUAN DANIEL FONSECA GÓMEZ** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph.D. MARIANO JESÚS GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR:



Ph.D. AGUSTÍN RUÍZ FLORES

ASESOR:



M.C. CONSTANTINO ROMERO MÁRQUEZ

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DATOS BIOGRÁFICO	viii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Literatura citada	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Situación de la porcicultura en México	5
2.2 Antibióticos promotores del crecimiento animal.....	6
2.2.1 Definición.....	6
2.2.2 Principales antibióticos utilizados en producción animal	7
2.2.3 Antibióticos promotores del crecimiento en producción animal	7
2.2.4 Prohibición de los antibióticos	10
2.2.5 Alternativas de antibióticos	11
2.3 Ácidos grasos de cadena media (AGCM).....	14
2.3.1 Definición.....	14
2.3.2 Clasificación de los ácidos grasos de cadena media	15
2.3.3 Ácidos grasos de cadena media en la producción animal	15
2.4 Ácido láurico (AL)	19
2.4.1 Composición del ácido láurico	19
2.4.2 Resultados del uso de ácido láurico en producción animal	20
2.5 Literatura citada	23

3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN ENGORDA SUPLEMENTADOS CON ÁCIDO LÁURICO EN LA DIETA.....	33
3.1 Resumen	33
3.2 Abstract	34
3.3 Introducción	35
3.4 Materiales y métodos.....	36
3.4.1 Tratamientos	37
3.4.2 Alimentación	37
3.5 Variables de respuesta del comportamiento productivo	39
3.5.1 Peso vivo (kg).....	39
3.5.2 Consumo de alimento (kg/día)	39
3.5.3 Ganancia diaria de peso (kg/día)	40
3.5.4 Conversión alimenticia (kg)	40
3.5.5 Análisis estadístico	40
3.6 Resultados y discusión	41
3.6.1 Consumo de alimento.....	41
3.6.2 Conversión alimenticia	44
3.6.3 Peso vivo	47
3.6.4 Ganancia diaria de peso.....	49
3.7 Conclusión.....	52
3.8 Literatura citada	52

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Volúmenes de productos pecuarios en México de 2017 a 2019 (millones de toneladas).....	5
Cuadro 2. Propiedades químicas de los ácidos grasos de cadena media.....	15
Cuadro 3. Composición de las dietas y análisis nutrimental calculado para el alimento de iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización ofrecidas en la engorda de cerdos.	38
Cuadro 4. Consumo diario promedio de alimento por etapa de crecimiento del cerdo (kg).....	42
Cuadro 5. Conversión alimenticia promedio por etapa de crecimiento del cerdo (kg).....	45
Cuadro 6. Peso vivo promedio por etapa de crecimiento del cerdo (kg).....	47
Cuadro 7. Ganancia diaria de peso promedio por etapa de crecimiento del cerdo (kg).....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química del ácido láurico (Sandhya et al., 2016).....	20
Figura 2. Consumo diario de alimento por tratamiento durante el crecimiento del cerdo (kg).....	44
Figura 3. Ganancia de peso acumulada por tratamiento en cada etapa de crecimiento del cerdo (kg).....	51

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para estudiar la Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal, por brindarme la oportunidad y el apoyo para realizar estudios de Maestría en Ciencias.

Al Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta por su amistad, dirección, enseñanzas y la confianza brindada que me permitieron culminar la presente tesis.

Al Ph. D. Agustín Ruíz Flores por sus enseñanzas, confianza y amistad brindada durante la estancia en esta institución.

Al M. C. Constantino Romero Márquez por sus enseñanzas, consejos, tiempo y empeño en la realización de la presente tesis.

A la empresa Porcícola Garleón (NU-3) y a todo el equipo de trabajo de la granja San Cristóbal, en especial al M. C. Danibaán Martínez Santiago, que con su valioso apoyo se realizó el experimento y a las demás personas pertenecientes a este grupo que me brindaron su apoyo y amistad, muchas gracias.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Juan Daniel Fonseca Gómez
Lugar de nacimiento	Irapuato, Guanajuato
Profesión	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cédula profesional	10879966

Desarrollo académico

Maestría	Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, 2018-2019.
Licenciatura	Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, 2007-2011.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En el sector de producción pecuaria, la porcicultura mexicana contribuye con la tercera parte de carne para la alimentación humana, después de la carne de res y ave, según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SADER, 2019).

Los sistemas de producción animal, con especial énfasis en la industria porcina, mantienen una tendencia hacia la obtención de productos orgánicos, inocuos y seguros para la salud de los consumidores. Debido a la demanda de este tipo de proteína animal, se ha realizado énfasis en el uso, la presencia y eliminación de residuos de antibióticos en la carne, siendo un tema de gran importancia para la salud del consumidor.

Los antibióticos promotores de crecimiento (AGP), se han utilizado ampliamente durante muchos años en la alimentación animal, especialmente en producción porcina, para mejorar algunos parámetros productivos en las diferentes etapas de crecimiento; como consecuencia de esta práctica, los microorganismos han generado resistencia, facilitando que los antibióticos se encuentren presentes en los productos finales que los consumidores adquieren (Cromwell, 2002). Como resultado de esta actividad, la Unión Europea en 2006 emitió leyes para la prohibición del uso de antibióticos en producción animal, ocasionando una tendencia intensificada en la búsqueda de alternativas que cumplan con la función de promotores de crecimiento animal que sean eficientes en el uso de recursos, y eficaces en lo que concierne a alcanzar los objetivos de producción buscados; como ejemplo Canadá decidió seguir el camino de la prohibición de estos productos creando leyes que entraron en vigor en 2017 (Omonijo, Ni, Gong, Wang, Lahaye, & Yang, 2018).

Actualmente, el mercado de la producción animal cuenta con una amplia gama de productos comerciales con una composición de ingredientes activos específicos y variados que desempeñan funciones de los AGP; dando lugar a productos con ingredientes provenientes de extractos vegetales, ácidos

orgánicos, productos marinos, aceites esenciales de animales y vegetales, enzimas y minerales, entre otros (Hanczakowska, Księżak, & Świątkiewicz, 2017).

Dentro de las alternativas de estudio que han recibido mayor énfasis, están los ácidos grasos, los que pueden ser de tres tipos, de cadena corta, media y larga. Aunque se han desarrollado investigaciones en las diferentes etapas productivas de los animales de interés zootécnico, existen ventanas de oportunidad para su estudio que necesitan analizarse, con el fin de su futura aplicación en los sistemas de producción animal.

Entre estas oportunidades se encuentran los ácidos grasos de cadena media, como los ácidos caproico, caprílico, cáprico y láurico. Existen estudios realizados por diferentes autores como Batovska, Todorova, Tsvetkova, y Najdenski (2009); De Snoeck, Van der Wolf, Swart, Heiiman, y Ebbinge (2011); Pluske, Turpin, Abraham, Collins, y Dunshea (2018); Sandhya, Joyeeta, y Debabrat (2016); Thomas et al. (2020); Tsiloyiannis, Kyriakis, Vlemmas, y Sarris (2001); los cuales mencionan los beneficios y resultados positivos de adición de ácido láurico en las variables productivas de peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia en etapa de iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización de los cerdos de engorda, debido a que cuenta con propiedades antimicrobianas y antivirales.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la adición de ácido láurico en la dieta, en el desempeño productivo de consumo de alimento, conversión alimenticia, peso vivo, ganancia de peso, en cada etapa de crecimiento de los cerdos bajo condiciones de explotación comercial.

El Capítulo 2 de esta tesis hace referencia a la revisión de literatura, en el cual, se describen los puntos importantes de la utilización de antibióticos promotores del crecimiento, alternativas comerciales, parámetros productivos, así como la descripción del ácido láurico utilizado en la industria para la alimentación animal y el impacto en la respuesta productiva del cerdo en engorda.

El Capítulo 3 describe el artículo científico del trabajo de tesis realizado, resaltando los principales resultados obtenidos con la adición de ácido láurico en la dieta de los cerdos durante la engorda.

Literatura citada

- Batovska, D. I., Todorova, I. V. A. T., Tsvetkova, I. V. A. V, & Najdenski, H. M. (2009). Antibacterial study of the medium chain fatty acids and their 1-Monoglycerides: Individual effects and synergistic relationships. *Polish Journal of Microbiology*, 58(1), 1-24.
- Cromwell, G. L. (2002). Why and how antibiotics are used in swine production? *Animal Biotechnology*, 13(1), 7–27. <https://doi.org/10.1081/ABIO-120005767>
- De Snoeck, S., Van der Wolf P., Swart, W., Heiiman, E., & Ebginge, B. (2011). The effect of the application of mono-lauric acid with glycerol mono-laurate in weaned piglets, on the use of antimicrobials in sow herds. *Safe Pork*, 2(4),346–348.
- Hanczakowska, E, Księżak, J., & Świątkiewicz, M. (2017). Efficiency of lupine seed (*Lupinus angustifolium* and *Lupinus luteus*) in sow, piglet and fattener feeding. *Agricultural and Food Science*, 26(1), 1–15. <https://doi.org/10.23986/afsci.59407>
- Omonijo, F. A., Ni, L., Gong, J., Wang, Q., Lahaye, L., & Yang, C. (2018). Essential oils as alternatives to antibiotics in swine production. *Animal Nutrition*, 4(2), 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.09.001>
- Pluske, J., Turpin, D., Abraham, S., Collins, A., & Dunshea, F. (2018). Lauric acid, a potentially new feed additive for the Australian pork industry. *High Integrity Australian Pork*, 6(3), 1-43
- SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). (2019). Perspectivas agroalimentarias 2019. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/. Consultado el 6 de marzo del 2020.

- Sandhya, S., Joyeeta, T., & Debabrat, B. (2016). Chemical and biological properties of lauric acid: A review. *International Journal of Advanced Research*, 4(4), 144–149. <https://doi.org/10.21474/IJAR01>
- Thomas, L. L., Woodworth, J. C., Tokach, M. D., Dritz, S. S., DeRouchey, J. M., Goodband, R. D., & Jones, A. M. (2020). Evaluation of different blends of medium-chain fatty acids, lactic acid, and monolaurin on nursery pig growth performance. *Translational Animal Science*, 4(2), 1–10. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa024>
- Tsiloyiannis, V. K., Kyriakis, S. C., Vlemmas, J., & Sarris, K. (2001). The effect of organic acids on the control of porcine post-weaning diarrhoea. *Research in Veterinary Science*, 70(3), 287–293. <https://doi.org/10.1053/rvsc.2001.0476>

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación de la porcicultura en México

La producción porcina mexicana se concentra principalmente en Jalisco, Durango, Coahuila, Veracruz, Puebla, Yucatán y Guanajuato, con una producción anual mayor que un millón 500 mil toneladas en 2018, la producción fue alrededor de un millón 600 mil toneladas en diciembre de 2019, con un incremento esperado entre 5 y 6% (SADER, 2019). Al cierre de 2019, el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2019) estimó que en 2020 la producción pecuaria de cerdo aumentará 6.5% con respecto a 2019, debido a la demanda de carne para exportación a diferentes países.

En 2018, México registró un incremento en producción de 59 mil toneladas, mientras que la oferta total de carne de porcino para 2019 fue un millón 580 mil toneladas, 5.3% más que 2018 como se observa en el Cuadro 1; además, se estima que la tasa de autosuficiencia pase de 66.3 a 67.3% en 2019, consecuencia de un incremento en la producción nacional de 79 mil toneladas (SIAP, 2019).

Cuadro 1. Volúmenes de productos pecuarios en México de 2017 a 2019 (millones de toneladas).

Producto	2017	2018	Variación (%)	2019	Variación (%)
Leche de vaca	11.423	11.656	+ 2.0	11.919	+ 2.3
Carne de ave	3.212	3.309	+ 3.0	3.411	+ 3.1
Carne de cerdo	1.442	1.501	+ 4.1	1.580	+ 5.3
Carne de res	1.927	1.980	+ 2.8	2.025	+ 2.3
Huevo para plato	2.771	2.932	+ 5.8	3.009	+ 2.7
Miel	0.051	0.062	+ 22.0	0.067	+ 6.8

Fuente: Adaptado de SIAP (2019).

La industria de carne porcina contempla un panorama favorable, debido a las condiciones sanitarias de China; con relación a la Peste Porcina Africana existe una demanda de carne para cubrir consumo nacional, dando apertura a

importaciones de diferentes países, dentro de ellos México será uno de los principales abastecedores de este producto en los próximos cinco años. En 2020, se espera que aumenten 100% las exportaciones de carne porcina, llegando a 60,000 mil toneladas con respecto a 2019, de acuerdo con la información reportada por el Grupo Consultor de Mercados Agrícolas (GCMA, 2020).

De acuerdo con Transparency Market Research, la perspectiva de la porcicultura mexicana para 2027 es mantener un incremento anual de 2% en la facturación, con respecto a las ventas a nivel mundial, generando grandes expectativas para el mercado nacional. El Banco de México (Banxico, 2020) adicionalmente informa de 31.6% de incremento en las exportaciones de carne porcina durante el último trimestre de 2019, con un valor estimado de 706 millones de dólares.

En el primer trimestre del 2020 existen informes por parte del GCMA (2020), en los que se señala que han sido exitosas las proyecciones del balance pecuario a nivel nacional en la producción de carne de cerdo, observándose 4.3% de aumento, igualmente las exportaciones fueron más favorables con 51.2%, siguiendo las importaciones con 9.4% respecto al mismo trimestre de 2019. Estas tendencias también favorecieron los precios del cerdo con 10.4% de aumento en el precio del cerdo en pie en granja, el precio en canal aumentó 6% y la carne importada creció 38.3%. Las exportaciones al mercado chino fueron 16.5 mil toneladas, un aumento del 943% en el mismo periodo del año previo.

2.2 Antibióticos promotores del crecimiento animal

2.2.1 Definición

Los antibióticos promotores del crecimiento (AGP) son aditivos que suprimen o inhiben el crecimiento de microorganismos, como bacterias perjudiciales para la salud de los animales, así como los compuestos que producen a consecuencia de su desarrollo, que cuentan con propiedades terapéuticas y profilácticas para tratar o prevenir infecciones en animales de interés zootécnico, ya que reducen la competencia por nutrientes y metabolitos microbianos que deprimen el

crecimiento. Por lo anterior, se utilizan como aditivos en alimentos balanceados. Para utilizar antibióticos debe contarse con autorización y regulación por parte de leyes gubernamentales y el criterio de un médico veterinario dependiendo de la especie animal (Li, 2017; Torres & Zaragaza, 2002).

2.2.2 Principales antibióticos utilizados en producción animal

Desde el descubrimiento de los antibióticos, su uso en explotaciones comerciales ha aumentado significativamente, con el fin de mantener la salud de los animales en óptimas condiciones, así como mantener un óptimo estado sanitario de las granjas, además de obtener el beneficio como promotores de crecimiento al aumentar la eficiencia productiva de cada sistema. Aunque existe un abanico muy diverso de AGP, entre los más utilizados en los sistemas de producción animal se encuentran Neomicina, Oxitetraciclina (terramicina), Aureomicina (clortetracilina), Penicilina, Estreptomicina, Cloromicina, Bacitricina, Eritromicina, Lincomicina, Tiamulina, Virginiamicina, Tetraciclina, Tilosina, Colistina y Monensina. Este último considerado en la actualidad como el más seguro, sin generar resistencia por su aplicación. El uso de cada antibiótico depende del sistema de aplicación y la especie a tratar, igualmente del estatus sanitario de los animales, debido que contienen ingredientes activos que también se usan para tratar infecciones en humanos (Cromwell, 2012; Hughes & Heritage, 2004; Patrick, Luc, & Freddy, 2003). Se estima que los betalactámicos y la tetraciclina comprenden cerca de 50% de los antibióticos utilizados en el mundo para fabricar alimento para animales (Rajagunalan, Chakraborty, Dhama, & Singh, 2013).

2.2.3 Antibióticos promotores del crecimiento en producción animal

Desde hace más de 50 años se conocen los beneficios del uso de AGP en la producción animal, uno de ellos es la mejora del crecimiento animal y consecuentemente de los parámetros productivos de cada etapa de las especies que se aplican. Los antibióticos causan modificaciones fisiológicas y nutrimentales por los cambios metabólicos en el epitelio intestinal; el impacto

productivo se refleja en todas las etapas de crecimiento del cerdo y en el estatus productivo, es decir actúa en la gestación, lactancia, destete, crecimiento, desarrollo y finalización; sin embargo, los efectos son específicos de cada una de las etapas donde se utilicen antibióticos como aditivos. Además, con el paso del tiempo la efectividad de los antibióticos en la alimentación animal disminuye considerablemente (Lee & Kang, 2017; Li, 2017).

En la actualidad, los efectos de los aditivos en la industria alimenticia animal han sido estudiados ampliamente, con el fin de conocer los efectos en el crecimiento de los animales; dentro de este segmento de estudio se encuentran también algunos antibióticos de uso humano. Aarestrup (2012) menciona que, en los Estados Unidos, para producir un kilogramo de carne o huevo se utilizan cerca de 300 miligramos de antibióticos. En dosis bajas y prolongadas de antibióticos, como la oxitetraciclina, administradas a pollos, se observó que existen cepas de bacterias que crean una presión selectiva resistente, esto implica que las bacterias dominan rápidamente la flora intestinal del huésped (Levy, 2014). Además, se conoce que, en el mismo país, se usan 90% de antibióticos en la etapa de iniciación y 50% en la producción de alimentos para animales. Se ha encontrado que la aureomicina (clortetraciclina), terramicina (oxitetraciclina) y la penicilina mejoran el crecimiento del cerdo y la eficiencia en el aprovechamiento del alimento hasta 10%.

Adicionalmente, en lechones el uso de estreptomicina hasta 28 días de edad aumenta 8% el peso vivo (Li, 2017). También se reporta que al utilizar AGP en cerdos y aves, la mortalidad disminuye de 10 a 15%, y la conversión alimenticia aproximadamente 2.5% (Hughes & Heritage, 2004). El principal efecto de los antibióticos veterinarios es afectar drásticamente organismos y bacterias alojados en animales (Sarmah, Meyer, & Boxall, 2006). Se estima que el uso de antibióticos aumenta 5% la ganancia de peso en animales de engorda, además reduce la mortalidad en un porcentaje similar; el uso de AGP como aditivos en la alimentación animal influye en la selección de resistencia microbiana, ocasionando disminución de los efectos de control en el tracto digestivo del

animal. Aunque el mecanismo de acción no está bien definido, se conoce que los antibióticos modifican de manera cualitativa y cuantitativa la microbiota intestinal, disminuyendo la presencia de microorganismos causantes de enfermedades subclínicas (Torres & Zaragaza, 2002).

En las explotaciones porcinas intensivas, frecuentemente los animales se encuentran en constante estrés ambiental y de manejo, que ocasiona desequilibrio en la microbiota intestinal, resultando en problemas digestivos que repercuten en pérdida de peso y afectación de los parámetros productivos. La adición de antibióticos reduce la expresión del gen que ocasiona la diarrea epidémica porcina (Cochrane et al., 2019; Riopérez & Rodríguez-Membibre, 2000; Ulloa-Ramones, 2011). En producción avícola, los antimicrobianos se incluyen constantemente en la alimentación, con el propósito de mejorar las tasas de ganancia de peso y como medida de control de enfermedades (Demir, Sarica, Özcan, & Suçmez, 2003).

Doyle (2001), y Verstegen y Williams (2002) informan que el uso de antibióticos en la alimentación de cerdos en niveles sub-terapéuticos aumenta de 3.3 a 8.8% la ganancia de peso, y que mejora la conversión alimenticia de 2.5 a 7.0%, debido a que afecta la flora intestinal no patógena, dando beneficios en el sistema digestivo y en el aprovechamiento de los nutrimentos. Se estima que se pierde hasta 6% de la energía del alimento para cerdo, cuando no se utilizan antibióticos a causa de la fermentación microbiana en el estómago e intestino delgado. Otros beneficios que tiene el uso de antibióticos es que reduce la excreción de metabolitos como nitrógeno y fósforo.

La absorción de los antibióticos en el intestino ocurre en un rango de 10 a 70%, el resto se excreta, resultando en metabolitos bioactivos que pueden transformarse al compuesto original en el medio ambiente, debido a la solubilidad en agua pueden excretarse hasta 90% en orina y 75% en heces, como en el caso de ovejas que excretan cerca de 20% del compuesto original (Sarmah et al., 2006).

Algunos autores mencionan que la adición de tilosina en la dieta no tiene efectos benéficos en parámetros productivos de cerdos, ya que no aumentaron la ganancia de peso, por ende, el peso vivo no fue modificado y la conversión no se afectó, aunque si favoreció el contenido de músculo magro de la canal, y redujo la incidencia de enfermedades como diarrea y disentería porcina (Van Lunen, 2003). La alimentación con antibióticos ha demostrado que mejora en alrededor de 7% la conversión alimenticia, así como el peso vivo aumenta entre 3.0 y 8.8% (Dewey, Cox, Straw, Bush, & Hurd, 1999).

2.2.4 Prohibición de los antibióticos

La prohibición de antibióticos utilizados como promotores del crecimiento comienza a partir del descubrimiento del posible riesgo de resistencia a medicamentos en los patógenos animales y humanos; dicha resistencia de los microorganismos se debe a la capacidad de anular los efectos por medio de una adaptación genética, dada por una constante exposición a los compuestos administrados de forma inapropiada e irracional, esto se debe a genes que transmiten resistencia horizontalmente, mediante la conjugación, transducción o transformación (Demir et al., 2003; Rajagunalan et al., 2013).

La Unión Europea prohibió la avoparcina en 1997, y la bacitracina, la espiramicina, la tilosina y la virginiamicina en 1999, debido a la prohibición intensiva de todos los antibióticos que promueven el crecimiento de animales por Suecia en 1986. A consecuencia de la retirada de los antibióticos, aumentó el uso de antibióticos para uso humano en la industria animal, ocasionando un riesgo para la salud humana (Casewell, Friis, Marco, McMullin, & Phillips, 2003).

No obstante, esta prohibición trajo consecuencias importantes en la salud animal, especialmente en aves y pollos de engorde, dando efectos negativos como la aparición de diarreas, pérdida de peso y aumento de mortalidad por agentes como *E. coli* y *Lawsonia* (Casewell et al., 2003).

Debido a un estudio de caso en la Unión Europea, en 2006 se decreta la prohibición de antibióticos para uso en la alimentación animal; dicha medida se toma en cuenta como una forma de seguridad para la salud pública a nivel mundial, por los riesgos que conlleva este escenario (Anadón, Martínez-Larrañaga, & Aranzazu-Martinez, 2006).

2.2.5 Alternativas de antibióticos

La industria de alimentos balanceados para consumo animal y los productores se encuentran bajo presión por encontrar ingredientes alternativos que sustituyan a los antibióticos promotores de crecimiento (Letlolle, 2018). Los consumidores están preocupados por la presencia de patógenos bacterianos en la carne, principalmente con una tendencia a la predilección de la agricultura natural o sin utilización de productos químicos. A pesar de esta situación, se mantiene un panorama favorable a la disminución de resistencia por parte de los patógenos responsables de efectos adversos en la salud animal y humana. Actualmente, se analizan diferentes posibles alternativas a los antibióticos que puedan cumplir las mismas funciones, logrando los objetivos de producción animal en niveles óptimos requeridos en cada etapa de crecimiento. Existe un gran número de opciones en productos que cumplen estos requisitos, tales como ácidos orgánicos, extractos herbales, algas marinas, probióticos, prebióticos, enzimas, minerales, fibrolíticos, entre otros, generando gran interés en su estudio y aplicación para los diferentes campos en los sistemas de producción animal del mundo. Se tienen criterios para que se consideren aditivos alternativos efectivos en la alimentación animal, estos deben generar efectos similares a los antibióticos; asimismo, deben considerarse los efectos positivos o negativos a corto, mediano y largo plazo; otro punto importante es conocer con exactitud los mecanismos de acción en el animal (Carro & Ranilla, 2002; Demir et al., 2003; Doyle, 2001).

Las nuevas opciones utilizadas como sustitutos de los antibióticos se someten a evaluaciones, para conocer su eficacia y rentabilidad ante los problemas sanitarios que se enfrenta cada especie animal en granja a nivel comercial.

Dichas evaluaciones las realizan diferentes actores de la cadena productiva, como médicos veterinarios, ganaderos, productores, fabricantes de alimento balanceado y autoridades sanitarias gubernamentales (Demir et al., 2003; Carro & Ranilla, 2002). Las hierbas y sus derivados se consideran ingredientes alternativos importantes, por su efecto positivo en el comportamiento productivo de pollo de engorda, mejorando conversión alimenticia, ayudando a mejorar la inmunidad y reduciendo la carga de agentes microbianos en el intestino (Rehman, Jingyi, Shuang, Fan, Hong, Shenghu, & Ji, 2019).

En Dinamarca se logró reducir el uso de antibióticos en producción porcina, hasta 60%, manteniendo la producción de carne sin dificultad (Aarestrup, 2012). La utilización de alternativas para sustituir los antibióticos, requiere de factores de anticipación, es decir, conocer los riesgos en la salud animal y del consumidor; además, es necesario conocer los comportamientos productivos de los animales con las nuevas opciones, así como el impacto económico de la eliminación del antibiótico (Lhermie, Gröhn, & Raboisson, 2017).

Los ácidos orgánicos y los monoglicéridos se consideran alternativas con gran potencial para sustituir la prohibición de los antibióticos promotores del crecimiento en producción porcina. Debido a las propiedades y características versátiles de actividad inhibitoria contra patógenos, se considera que impactan positivamente en rendimiento de lechones destetados, cerdos de engorda y cerdas reproductoras. El efecto antimicrobiano de los ácidos orgánicos se debe a su estado disociado, que provienen de diferentes fuentes como las plantas y animales o en la fermentación microbiana. Las fuentes de origen vegetal cuentan con mejores valores de energía metabolizable en comparación con las fuentes de origen animal, debido a que contienen una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados. Se ha demostrado que los ácidos grasos de fuentes vegetales aumentan la tasa de crecimiento de los cerdos en engorda y de las cerdas lactantes (Jackman, Boyd, & Elrod, 2020; Partanen & Mroz, 1999).

Una de las alternativas más utilizadas en producción animal son los probióticos, cultivos de cepas de microorganismos frecuentemente de pertenencia láctica,

siendo bacterias ácidas. Los probióticos se utilizan para beneficio del animal receptor por medio de una administración de microorganismos vivos o atenuados, lo que provoca una habilidad para mantener la salud y prevenir o tratar enfermedades infecciosas intestinales, tanto en humanos como en animales. También algunos probióticos se utilizan para cumplir con funciones de exclusión competitiva, coadyuvan en la maduración del intestino, aumentan las actividad enzimática, equilibran algunas enterotoxinas desplazando rápidamente a una colonia patógena específica en medio de una flora intestinal; su uso en la alimentación animal se conoce desde hace años, actualmente resurgió el interés para mejorar el crecimiento y salud del ganado (Doyle, 2001; Reid & Friendship, 2002; Sethiya, 2016; Verstegen & Williams, 2002).

En lechones, el uso de probióticos protege de los patógenos intestinales por medio de una adherencia a la mucosa, afectando la permeabilidad y produciendo bacteriocinas y ácidos orgánicos. Los lactobacillus y bifidobacterias favorecen el aumento del peso y disminuyen la mortalidad en los lechones, aunque algunos autores no concuerdan con estos efectos (Doyle, 2001).

Verstegen y Williams (2002) definen a los prebióticos como aquellos ingredientes de grado alimenticio que no son digeribles y afectan de forma benéfica al animal huésped, a través de un estímulo selectivo de bacterias que ocurre en el colon; esto ayuda a la microbiota benéfica a tener un sustrato en el tracto gastrointestinal adecuado para su proliferación.

Algunas combinaciones de butirato de sodio (32%), extractos herbales (5%), y nucleótidos (3%) en la alimentación del lechón destetado no tuvieron impactos benéficos en la modificación de la morfología intestinal y cambios en pH, al igual que no hubo beneficio en la ganancia de peso (Santana, Melo, Cruz, Garbossa, Andrade, Cantarelli, & Costa, 2015).

2.3 Ácidos grasos de cadena media (AGCM)

2.3.1 Definición

Se consideran ácidos orgánicos a los compuestos de cualquier cadena carboxílica con estructura general $R-COOH$ (incluidos aminoácidos), dentro de los cuales se encuentran aquellos de acción específica, también llamados de cadena corta que contienen de 1 a 7 carbonos (C1-C7), además tienen un pKa específico de 3 y un pH de 5; su formación se debe a la fermentación de los carbohidratos a causa de la microbiota intestinal (Papatsiros, 2012). La mayoría de sus moléculas son aniónicas en pH neutros y no iónicas en pH ácidos, mantienen una mayor estabilidad química, y son considerados agentes germicidas de grado alimenticio, conservantes de alimento, farmacéuticos y aditivos de ensilaje (Decuypere & Dierick, 2003; Jackman et al., 2020).

Debido a las características de palatabilidad de los ácidos grasos, son sus triacilglicerolos los que se usan en alimentación animal, se pueden absorber parcialmente a través de la mucosa del estómago. Estos se absorben intactos en los enterocitos epiteliales del intestino y después son hidrolizados por lipasas microsomales, siendo una fuente de energía altamente disponible para la digestión; penetran la pared celular de bacterias como *Salmonella* spp, *E. coli*, *Clostridia* spp, *Listeria* spp y algunos coliformes.

Dependiendo de su composición, se encuentran en la naturaleza como parte de las plantas o tejidos animales, que se forman debido a una fermentación microbiana en el intestino del cerdo; asimismo, tienen una menor predisposición de almacenamiento como grasa corporal; el transporte y oxidación es muy similar al de los carbohidratos (Hanczakowska, 2017; Mroz, Koopmans, Bannink, Partanen, Krasucki, Øverland, & Radcliffe, 2006).

Los AGCM cuentan con propiedades que los hacen atractivos para su uso. Dentro de ellas se encuentran la capacidad de solubilidad en agua, en la luz del intestino, y en el citoplasma. Se absorben de manera linfática, sin pasar por el

hígado, y su oxidación es más rápida, cuentan con un punto de fusión más bajo por un menor tamaño de partícula que suministran 8.25 kcal/g, se consideran grasas poco convencionales, su uso puede variar como fuente de energía rápida (De Vogel-van den Bosch et al., 2011; Sáyago-Ayerdi, Vaquero, Schultz-Moreira, Bastida, & Sánchez-Muniz, 2008).

2.3.2 Clasificación de los ácidos grasos de cadena media

Los AGCM abarcan el grupo de ácidos monocarboxílicos (Cuadro 2), con átomos de carbono de 6 a 12, tales como ácido caproico o hexanoico (c6), caprílico o octanoico (c8), cáprico o decanoico (c10), y láurico o dodecanoico (c12); cuentan con la capacidad de ser absorbidos parcialmente a través de la membrana por las propiedades con las que cuentan (Doyle, 2001; Hanczakowska, 2017).

Cuadro 2. Propiedades químicas de los ácidos grasos de cadena media.

Ácido graso	Peso molecular	Punto de fusión (°C)	pKa
Ácido caproico (C6:0)	116.2	-3.4	4.88
Ácido caprílico (C8:0)	114.2	16.7	4.89
Ácido cáprico (C10:0)	172.3	31.9	4.89
Ácido láurico (C12:0)	200.3	44	5.13

Fuente: Adaptado de Geng, Zhang, Li, Yan, y Jin (2016).

2.3.3 Ácidos grasos de cadena media en la producción animal

El uso de ácidos corresponde a diversas funciones a través de los años, una de ellas refiere a la conservación de alimentos balanceados para cerdos y otros animales; además, se enfoca principalmente en una actividad antimicrobiana, debido a que pueden penetrar las membranas semipermeables de las bacterias, dañando las estructuras internas, esta capacidad equivale como sustituto de antibióticos en lechones recién destetados, mejorando su rendimiento. En bajas concentraciones pueden utilizarse como nutrimentos, en aves se usan como antimicrobiano y en cerdos su uso se enfoca en la reducción de pH estomacal,

apoyando la transformación del pepsinógeno (Hanczakowska, Księżak, & Świątkiewicz, 2017; Suiryanrayna & Ramana, 2015).

Batovska, Todorova, Tsvetkova, y Najdenski (2009) mencionan que ciertos AGCM suprimen la acción de genes que producen la resistencia a los antibióticos, lo que ocasiona un efecto negativo en los microorganismos de baja resistencia. También la adición de ácidos grasos en diferentes concentraciones produce diversos resultados positivos; como el ácido acético al 2.7%, ácido cítrico, ácido fumárico, ácido láctico al 1.5-2.0%, y el ácido fórmico al 1.2%, que han demostrado aumentar la eficiencia de utilización del alimento, dependiendo del sistema de producción y los parámetros productivos estudiados.

Entre otros beneficios que tienen los ácidos orgánicos en la alimentación animal, se encuentran mejorar la salud y aumentar la resistencia a enfermedades, así como un rápido crecimiento. Además, incrementa la eficiencia en el uso del alimento, la mejora de la calidad de canal del cerdo, y la reducción en las excreciones de minerales como nitrógeno, amoníaco y fósforo, así como la reducción de los costos de producción en la granja (Mroz et al., 2006).

Durante el destete, los lechones sufren diversas alteraciones de estrés, como el cambio de alojamiento, reagrupamiento, cambio en la alimentación y la adaptación del sistema digestivo a una nueva dieta. En esta fase, el uso de ácidos orgánicos tiene un efecto benéfico por el cambio de pH por la acción microbiana en el animal sobre los parámetros de conversión alimenticia y rendimiento de crecimiento en el peso vivo durante las primeras semanas del destete (Escuredo, Van der Horst, Carr, & Maes, 2016).

La composición orgánica de los ácidos grasos permite que se usen como conservantes de alimentos, mediante su acidificación, ayudando a mantener el pH estomacal óptimo en lechones destetados, y ayudando a la digestión de proteínas y poblaciones de bacterias beneficiosas. Además, regula la actividad microbiana con el control de poblaciones, aumenta la actividad de las enzimas proteolíticas; de igual forma la adición de ácidos orgánicos en los alimentos ha

aumentado con el paso del tiempo, para controlar el crecimiento del moho en el alimento almacenado, también aumenta la palatabilidad y la eficiencia del alimento, incrementa la absorción de minerales y de fitasas de fósforo. El tamaño de la cadena de carbonos influye en el efecto antiviral de los ácidos, y aquellos de cadena larga son menos efectivos (Doyle, 2001; Hornung, Amtmann, & Sauer, 1994; Papatsiros, 2012).

Boas, Budiño, Neto, Schmidt, Dadalt, Monferdini, y Pizzolante (2016) y Piva, Morlacchini, Casadei, Gatta, Biagi, y Prandini (2002), mencionan que el uso de ácidos grasos, como butirato y ácido fórmico, en la dieta de lechones previene trastornos gastrointestinales, mejorando 20% la ganancia de peso, además de regenerar el desarrollo intestinal posterior al destete. El uso de ácidos grasos administrados en la dieta incrementa la energía metabolizable de la dieta, lo que permite una mayor eficiencia de los nutrientes, por consiguiente, mejora la ganancia diaria de peso de 1 a 6%; sin embargo, la eficiencia y mejoras dependen de la longitud de la cadena de átomos de carbono de cada ácido, así como de la fuente, la calidad y el grado de saturación (Patrick et al., 2003).

Suiryanrayna y Ramana (2015) consideran que los ácidos orgánicos funcionan como bacteriostáticos y bactericidas, reduciendo el pH gástrico y retrasando la multiplicación de flora patógena; además, ayudan a aumentar la biodisponibilidad de minerales en lechones recién destetados, al incluir ácidos orgánicos aumentan la digestibilidad de proteínas como caseína, aminoácidos y minerales, siendo el ácido láctico reportado como el mejor aditivo. Dentro de otras funciones de los AGCM, estos autores informan que proporcionan energía en el intestino del cerdo, uno de ellos es el ácido fumárico que puede ser tan eficiente como la glucosa. Existen minerales que se asocian con los ácidos grasos como el calcio, fósforo, zinc y magnesio, mejorando su digestión. Otra función de los ácidos es que pueden modificar la morfología intestinal de los cerdos, debido a la fermentación microbiana de fibra en la dieta, lo que aumenta la proliferación de células epiteliales, aumentando las vellosidades en íleon y la profundidad de las criptas en el ciego.

Las composiciones químicas de la mayoría de los ácidos grasos causan una palatabilidad poco agradable para los animales, por esto solo se utilizan los triacilglicerol, que se hidrolizan en el tracto digestivo (Oprean, Iancu, Stan, & Trașcă, 2011). Así mismo, por su peso molecular y menor tamaño son más solubles en agua, ayudando a que se absorban a la circulación portal y transportados al hígado para una oxidación rápida (Dicklin, Robinson, Lin, & Odlet, 2006). Los AGCM y los triacilglicerol actúan dando una sensación de saciedad a causa de las concentraciones de ácidos y cetonas, también existe el efecto de la grelina, siendo la hormona encargada de controlar el consumo de alimento (Lai, Yen, Lin, & Chiang, 2014). El ácido glucónico aumenta la disposición de los ácidos grasos en el yeyuno, en diferentes proporciones de acuerdo con los niveles de inclusión en la dieta (Biagi, Piva, Moschini, Vezzali, & Roth, 2006).

Otras propiedades de los AGCM son la hidrólisis en el lumen por la acción de lipasas gástricas y la absorción, ya que es más rápida y eficiente, favoreciendo la estimulación de secreción de colecistoquinina, los fosfolípidos biliares y del colesterol. Debido a la baja masa molar son más solubles, requiriendo menor cantidad de sales biliares para su digestión y transporte por la vena portal, ingresan a la mucosa del intestino a través de forma de diacilglicéridos y monoglicéridos; otra vía de transporte es por la unión a la albúmina por medio de la vena porta hacia el hígado. Otros factores particulares de los AGCM; como el olor y sabor, pueden causar una palatabilidad baja, que disminuirá el consumo de alimento, además intervienen también en la absorción de minerales como el calcio, en la vitamina D, fitatos y oxalatos (Sáyago-Ayerdi et al., 2008).

En la producción de alimentos balanceados para animales donde se incorporan AGCM, tienen efectos nutricionales y metabólicos importantes para el proceso de formación de la membrana celular, sustratos metabólicos, rutas y vías bioquímicas. Son moduladores de la inmunidad, aumentando la longitud de las vellosidades del intestino y reduciendo la profundidad de la cripta, lo que resulta en una mejor digestión de nutrientes óptima por los cerdos (Lee & Kang, 2017).

El área con mayor eficacia en la mucosa del intestino se favorece por el incremento de las vellosidades y las criptas, esto permite que las células del epitelio sean las de mayor capacidad para la digestión y absorción; por consiguiente, la ganancia de peso se relaciona con esta modificación morfológica positivamente (Hanczakowska, Szewczyk, Świątkiewicz, & Okon, 2013).

2.4 Ácido láurico (AL)

El AL, también conocido como ácido dodecanoico, es un ácido graso de cadena media con propiedades antimicrobianas de amplio espectro. Es conocido por tener la mayor actividad antimicrobiana respecto a otros ácidos del mismo grupo. El aceite de coco y el aceite de semilla de palma son las dos fuentes principales de este ácido con 45.8 y 46.8%, aunque también se encuentra en la leche materna en 6.2%, en la leche de cabra, 3.1%, y en la leche de vaca, 2.9%. Se metaboliza a monolaurina (monoglicérido), el cual cuenta con propiedades frente a microorganismos cubiertos de lípidos, como algunas bacterias gram-negativas y gram-positivas, por lo que se les reconoce como elementos seguros en la alimentación. Asimismo, presenta propiedades intermedias entre los ácidos grasos de cadena media y larga (Batovska et al., 2009; Cochrane et al., 2019; De Snoeck, Van der Wolf, Swart, Heiiman, & Ebbinge, 2011; Sandhya, Joyeeta, & Debatrat, 2016; Yoon, Jackman, Valle-Gonzalez, & Cho, 2018).

2.4.1 Composición del ácido láurico

El ácido láurico es un triglicérido de cadena media que contiene una cadena de 12 átomos de carbono, la fórmula semi-desarrollada es $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$, y su fórmula molecular se representa como $\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$, también $\text{C}_{12:0}$, como se observa en la Figura 1. También se le conoce como ácido n-dodecanoico, ácido dodecílico, ácido dodecanoico, ácido laurosteárico, ácido fúlvico, ácido carboxílico 1-undecano, ácido duodecílico. Es un polvo blanco que tiene un peso molecular de $200.32 \text{ g mol}^{-1}$, con una solubilidad nula, acidez (pKa) de 5.3 (20 °C), un ligero olor marcado a laurel y se ha utilizado principalmente en la fabricación de jabones (Sandhya et al., 2016).

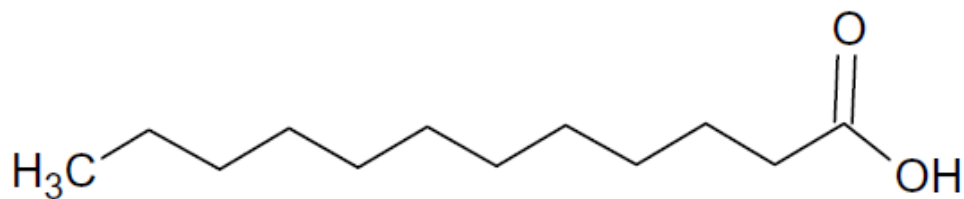


Figura 1. Estructura química del ácido láurico (Sandhya et al., 2016).

2.4.2 Resultados del uso de ácido láurico en producción animal

Se ha demostrado que los ácidos grasos de cadena media, como los ácidos caprílico y láurico, son mejores antimicrobianos que otros de cadena larga, estos AGCM dañan la estructura del citoplasma de las bacterias llegando a separar las membranas internas y externas en especial cuando se trata de *Clostridium*, siendo monolaurina la que ayuda a transferir el ácido láurico a través de la membrana de la bacteria. También se ha informado mayor actividad microbiana que el ácido mirístico, seguido de los ácidos cáprico, oleico y caprílico, ya que reduce el número de células realizables de cepas de *Clostridium* en granjas de cerdos. El ácido láurico también ayuda a solubilizar los lípidos y fosfolípidos de la membrana de los patógenos, causando una interferencia en la transducción de señales en la replicación celular. Tiene efectividad contra *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus*, *Salmonella* y *Campylobacter*, y también se ha demostrado que el AL tiene mayor actividad antiviral que los ácidos caprílico, cáprico y mirístico (Jackman et al., 2020; Kelsey, Bayles, Shafii, & McGuire, 2006; Lettölé, 2018; Shilling, Matt, Rubin, Visitacion, Haller, Grey, & Woolverton, 2013; Skřivanová, Marounek, Dlouhá, & Kaňka, 2005).

En pollos de engorde se utilizó AL, donde no disminuyó la incidencia de enteritis necrótica, pero sí la proliferación de *Escherichia shigella* (Yang, Lee, Lu, Chou, & Wang, 2019). Cuenta con propiedades terapéuticas, de fácil absorción y digestión, debido a la capacidad de hidrolizarse en ácidos grasos y glicerol por la lipasa pancreática, coadyuvando en la prevención de enfermedades en piel, tiene capacidad antioxidante, antibacteriana, antifúngica y antiviral; asimismo,

tiene una similitud a los carbohidratos por la forma de digestión, aportando energía (Sandhya et al., 2016).

Se sabe de algunos mecanismos de acción del ácido láurico, uno de ellos es un proceso fisicoquímico que actúa contra bacterias gram-positivas, alterando la membrana celular. Dentro de la célula, interfiere con señales de transducción y procesos de transcripción génica. Para que se lleve a cabo este mecanismo, debe contarse con un pH bajo en el que intervienen el Magnesio (Mg^{2+}) y el Calcio (Ca^{2+}). Otra propiedad del ácido láurico es la capacidad de transportarse más rápidamente a través de la mitocondria por medio de difusión pasiva; esto incluye la oxidación Beta, que es la principal ruta para producir Acetil-CoA para entrar en el ciclo del ácido cítrico; al final de la ruta sirve como fuente de energía para el cerebro, músculo y corazón, también sirve como base para formar ácidos de cadena larga en el hígado como el palmítico o mirístico (Dayrit, 2015). Otro mecanismo de acción es que el AL solubiliza los lípidos y fosfolípidos, desintegrando la capa externa de los organismos patógenos (Lieberman, Enig, & Preuss, 2006).

En un estudio holandés se determinó que al usar AL y glicerol monolaurato en la dieta de lechones del destete a iniciación, se reduce el uso de AGP en la granja, sin afectar el comportamiento productivo del animal (De Snoeck et al., 2011).

El AL ha demostrado una respuesta positiva en el aumento de la inmunidad intestinal, usando una línea celular porcina contra *Salmonella enteritis*, disminuyendo el crecimiento bacteriano, así como la reducción de población patógena como *E. Coli* (López-Colom, Casillejos, Rodríguez-Sorrento, Puyalto, Mallo, & Martín-Orúe, 2019; Martínez-Vallespín, Vahjen, & Zentek, 2016).

Existen estudios en conejos que demuestran que el AL inhibe la producción de exotoxinas gram-positivas a nivel celular de transcripción, bloqueando las señales en las células de las bacterias, y dando una estabilidad en la membrana (Peterson & Schlievert, 2006; Ruzin & Novick, 2000).

Es conocido que el AL en la dieta provoca efectos fisiológicos importantes, como el aumento de plasma total y las concentraciones de LDL en animales y humanos. Asimismo, induce la expresión de genes y la interacción de proteínas y membranas, ya que cuenta con una metabolización rápida en las células del hígado, así como la formación de enlaces covalentes con algunas grasas saturadas o insaturadas (Rioux, Daval, Guillou, Jan, & Legrand, 2003).

En la alimentación de los porcinos, el AL y la monolaurina cumplen la función de antibióticos, ayudando a reducir el pH estomacal, mejorando las secreciones del páncreas y controlando el crecimiento de microorganismos nocivos, así como el mejoramiento en el comportamiento productivo de cerdos (Thomas et al., 2020).

En la etapa de finalización de los cerdos, con la adición de ácido láurico disminuye el consumo diario de alimento y aumenta la conversión alimenticia, esto sin verse afectadas las características de calidad de la carne en canal, además de reducir la carga microbiana de *Streptococcaceae* en las excretas (Pluske, Turpin, Abraham, Collins, & Dunshea, 2018).

En otra investigación se estudió una combinación con AL, monolaurina y ácido láctico, la cual tuvo efectos positivos en la presencia de *Staphylococcus aureus* en la canal de cerdos (Tangwatcharin, Khopaibool, Development, Campus, & Krabang, 2012).

En rumiantes como vacas lecheras, la adición de AL modifica el pH ruminal, disminuyendo la concentración de amoníaco; también disminuye la carga de protozoarios, reduciendo la producción de gas metano en rumen, además de aumentar la grasa en leche y mejorar la eficiencia en el uso de nitrógeno, por la transformación de amoníaco ruminal a proteína microbiana (Hristov, Pol, Vander, Agle, Zaman, Schneider, & Karnati, 2009).

Al incluir monolaurina en la dieta de gallinas de postura en concentraciones de 0.05, 0.03 y 0.045%, la conversión alimenticia mejoró 2.65, 7.08 y 3.45%, respectivamente. También aumentó el peso promedio del huevo, así como la

concentración de albumina y el color de la yema (Zhao, Cai, Liu, Deng, Li, Zhang, & Feng, 2019)

En pollos de engorda, la inclusión de monolaurato de glicerol (ácido láurico) en la dieta a 100, 200 y 300 ppm, mejoró el peso vivo, la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia; además, se mejoraron los niveles plasmáticos de proteínas totales, globulinas y glucosa (Fortuoso et al., 2019). En pollos de la raza R308 se obtuvo una conversión alimenticia significativamente más alta que la dieta sin AL, al igual que la reducción en la carga microbiana de *Campylobacter coli* (Zeiger, Popp, Becker, Hankel, Visscher, Klein, & Meemken, 2017).

2.5 Literatura citada

- Aarestrup, F. (2012). Sustainable farming: Get pigs off antibiotics. *Nature*, 486(7404), 465–466. <https://doi.org/10.1038/486465a>
- Anadón, A., Martínez-Larrañaga, M., & Aranzazu-Martinez, M. (2006). Eu ban on antibiotics as feed additives. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapy*, 29 (January), 41–46.
- Banxico (Banco de México). (2020). Disponible en: <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CE122&locale=es>. Consultado el 10 de marzo de 2020.
- Batovska, D. I., Todorova, I. V. A. T., Tsvetkova, I. V. A. V, & Najdenski, H. M. (2009). Antibacterial study of the medium chain fatty acids and their 1-Monoglycerides: Individual effects and synergistic relationships. *Polish Journal of Microbiology*, 58(1), 1-24.
- Biagi, G., Piva, A., Moschini, M., Vezzali, E., & Roth, F. X. (2006). Effect of gluconic acid on piglet growth performance, intestinal microflora, and intestinal wall morphology. *Journal of Animal Science*, 84(2), 370–378.
- Boas, A. D. C. V., Budiño, F. E. L., Neto, M. A. T., Schmidt, A., Dadalt, J. C., Monferdini, R. P., Sitanaka, N. Y., Moraes, J. E., & Pizzolante, C. C. (2016). Organic acids in diets of weaned piglets: Performance, digestibility and

- economical viability. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 68(4), 1015–1022. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8501>
- Carro, M., & Ranilla, M. (2002). Aditivos antibióticos promotores del crecimiento. Situación actual y posibles alternativas. *Albéitar*, 56, 46–49.
- Casewell, M., Friis, C., Marco, E., McMullin, P., & Phillips, I. (2003). The European ban on growth-promoting antibiotics and emerging consequences for human and animal health. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 52(2), 159–161. <https://doi.org/10.1093/jac/dkg313>
- CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y Soberanía Alimentaria). (2019). Producción agropecuaria y pesquera al cierre de 2019. Disponible en: http://www.cedrssa.gob.mx/post_produccionin_n-agropecuaria_y_pesquera-n-_al_cierre_de_2019.htm. Consultado el 6 de marzo de 2020.
- Cochrane, R. A., Dritz, S. S., Woodworth, J. C., Stark, C. R., Gebhardt, J. T., Bai, J., ..., & Jones, C. K. (2019). Assessing the effects of medium chain fatty acids and fat sources on PEDV infectivity. *Translational Animal Science*, 4(2), 1-22.
- Cromwell, G. L. (2012). Feed additives in swine diets. *Sustainable Swine Nutrition*, 3(2), 295–315. <https://doi.org/10.1002/9781118491454.ch13>
- Dayrit, F. M. (2015). The properties of lauric acid and their significance in coconut oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2562-7>
- De Snoeck, S., Van der Wolf P., Swart, W., Heiiman, E., & Ebbinge, B. (2011). The effect of the application of mono-lauric acid with glycerol mono-laurate in weaned piglets, on the use of antimicrobials in sow herds. *Safe Pork*, 2(4), 346–348.
- De Vogel-van den Bosch, J., Van Den Berg, S. A. A., Bijland, S., Voshol, P. J., Havekes, L. M., Romijn, H. A., Hoeks, J., van Beurden, D., Hesselink, M. K. C., Schrauwen, P., & van Dijk, K. W. (2011). High-fat diets rich in medium- versus long-chain fatty acids induce distinct patterns of tissue

- specific insulin resistance. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 22(4), 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2010.03.004>
- Decuypere, J. A., & Dierick, N. A. (2003). The combined use of triacylglycerols containing medium-chain fatty acids and exogenous lipolytic enzymes as an alternative to in-feed antibiotics in piglets: Concept, possibilities and limitations. An overview. *Nutrition Research Reviews*, 16(2), 193–210. <https://doi.org/10.1079/nrr200369>
- Demir, E., Sarica, Ş., Özcan, M. A., & Suiçmez, M. (2003). The use of natural feed additives as alternative to an antibiotic growth promoter in broiler diets. *Archiv Für Geflügelkunde*, 69(3), 110–116. <https://doi.org/10.1080/713655288>
- Dewey, C. E., Cox, B. D., Straw, B. E., Bush, E. J., & Hurd, S. (1999). Use of antimicrobials in swine feeds in the United States. *Journal of Swine Health and Production*, 7(1), 19–25.
- Dicklin, M. E., Robinson, J. L., Lin, X., & Odlet, J. (2006). Ontogeny and chain-length specificity of gastrointestinal lipases affect medium-chain triacylglycerol utilization by newborn pigs. *Journal of Animal Science*, 84(4), 818–825. <https://doi.org/10.2527/2006.844818x>
- Doyle, M. E. (2001). Alternatives to antibiotic use for growth promotion in animal husbandry. *Food Research Institute*, April, 1–17.
- Escuredo, J. A. M., Van der Horst, Y., Carr, J., & Maes, D. (2016). Implementing drinking water feed additive strategies in post-weaning piglets, antibiotic reduction and performance impacts: Case study. *Porcine Health Management*, 2, 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40813-016-0043-0>
- Fortuoso, B. F., dos Reis, J. H., Gebert, R. R., Barreta, M., Griss, L. G., Casagrande, R. A., ..., & Da Silva, A. S. (2019). Glycerol monolaurate in the diet of broiler chickens replacing conventional antimicrobials: Impact on health, performance and meat quality. *Microbial Pathogenesis*, 129(January), 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.02.005>
- GCMA (Grupo Consultor de Mercados Agrícolas). (2020). Perspectivas agroalimentarias 2020. Consultado en:

<https://gcma.com.mx/descargas/perspectivas-agroalimentarias-2020/>.

Consultado el 10 de marzo de 2020

- Geng, C. Y., Zhang, M., Li, C. Y., Jin, Y. H., Yan, C. G., & Jin, Y. (2016). Effectiveness of medium-chain fatty acids on feed intake and weight gain in animal: Depending on balance. *Indian Journal of Animal Research*, 50(6), 885–892. <https://doi.org/10.18805/ijar.v0iOF.4554>
- Hanczakowska, E., Szewczyk, A., Świątkiewicz, M., & Okon, K. (2013). Short- and medium-chain fatty acids as a feed supplement for weaning and nursery pigs. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 16(4), 647–654. <https://doi.org/10.2478/pjvs-2013-0092>
- Hanczakowska, E. (2017). The use of medium-chain fatty acids in piglet feeding—A review. *Annals of Animal Science*, 17(4), 967–977. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0099>
- Hanczakowska, E., Księżak, J., & Świątkiewicz, M. (2017). Efficiency of lupine seed (*Lupinus angustifolium* and *Lupinus luteus*) in sow, piglet and fattener feeding. *Agricultural and Food Science*, 26(1), 1–15. <https://doi.org/10.23986/afsci.59407>
- Hornung, B., Amtmann, E., & Sauer, G. (1994). Lauric acid inhibits the maturation of vesicular stomatitis virus. *Journal of General Virology*, 75(2), 353–361. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-75-2-353>
- Hristov, A. N., Pol, M. Vander, Agle, M., Zaman, S., Schneider, C., & Karnati, S. K. R. (2009). Effect of lauric acid and coconut oil on ruminal fermentation, digestion, ammonia losses from manure, and milk fatty acid composition in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 92(11), 5561–5582. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2383>
- Hughes, P., & Heritage, J. (2004). Antibiotic growth-promoters in food animals. In assessing quality and safety of animal feeds. *Quality and Safety of Animal Feeds*, 129–153.
- Jackman, J. A., Boyd, R. D., & Elrod, C. C. (2020). Medium-chain fatty acids and monoglycerides as feed additives for pig production: Towards gut health

- improvement and feed pathogen mitigation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 1(11:44), 1–15.
- Kelsey, J. A., Bayles, K. W., Shafii, B., & McGuire, M. A. (2006). Fatty acids and monoacylglycerols inhibit growth of *Staphylococcus aureus*. *Lipids*, 41(10), 951–961. <https://doi.org/10.1007/s11745-006-5048-z>
- Lai, W. K., Yen, H. C., Lin, C. S., & Chiang, S. H. (2014). The effects of dietary medium-chain triacylglycerols on growth performance and intestinal microflora in young pigs. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 23, 331–336.
- Lee, S. I., & Kang, K. S. (2017). Function of capric acid in cyclophosphamide-induced intestinal inflammation, oxidative stress, and barrier function in pigs. *Scientific Reports*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16561-5>
- Letole, B. R. (2018). Coated butyric acid and C12 monoglyceride supplementation of broiler feed to improve performance and gut health. (M.Sc. Thesis. Agricultural Animal Sciences). University of Pretoria. Pretoria, South Africa.
- Levy, S. (2014). Reduced antibiotic use in livestock. *Environmental Health Perspectives*, 122(6), 160–166.
- Lhermie, G., Gröhn, Y. T., & Raboisson, D. (2017). Addressing antimicrobial resistance: An overview of priority actions to prevent suboptimal antimicrobial use in food-animal production. *Frontiers in Microbiology*, 7(JAN), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02114>
- Li, J. (2017). Current status and prospects for in-feed antibiotics in the different stages of pork production - A review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(12), 1667–1673.
- Lieberman, S., Enig, M. G., & Preuss, H. G. (2006). A review of monolaurin and lauric acid. *Alternative & Complementary Therapies*, December, 310–314.
- López-Colom, P., Castillejos, L., Rodríguez-Sorrento, A., Puyalto, M., Mallo, J. J., & Martín-orúe, S. M. (2019). Efficacy of medium-chain fatty acid salts distilled from coconut oil against two enteric pathogen challenges in weanling piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 5(2), 1–17.

- Martínez-Vallespín, B., Vahjen, W., & Zentek, J. (2016). Effects of medium-chain fatty acids on the structure and immune response of IPEC-J2 cells. *Cytotechnology*, 68, 1925–1936. <https://doi.org/10.1007/s10616-016-0003-1>
- Mroz, Z., Koopmans, S., Bannink, A., Partanen, K., Krasucki, W., Øverland, M., & Radcliffe, S. (2006). Carboxylic acids as bioregulators and gut growth promoters in nonruminants. *Biology of Nutrition in Growing Animals*, 4, 81–133. [https://doi.org/10.1016/S1877-1823\(09\)70091-8](https://doi.org/10.1016/S1877-1823(09)70091-8)
- Oprean, L., Iancu, R., Stan, R., & Trașcă, C. (2011). Comparison between types of feeding on goat milk composition. *Animal Science and Biotechnologies*, 44(1), 76–79.
- Papatsiros, V. G. (2012). The use of organic acids in monogastric animals (swine and rabbits). *Journal of Cell and Animal Biology*, 6(10), 154–159. <https://doi.org/10.5897/jcab11.081>
- Partanen, K. H., & Mroz, Z. (1999). Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutrition Research Reviews*, 12(1), 117–145. <https://doi.org/10.1079/095442299108728884>
- Patrick, B., Luc, A., & Freddy, H. (2003). Antimicrobial growth promoters used in animal feed. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(2), 175–188. <https://doi.org/10.1128/CMR.16.2.175>
- Peterson, M. L., & Schlievert, P. M. (2006). Glycerol monolaurate inhibits the effects of gram-positive select agents on eukaryotic cells. *Biochemistry*, 45(7), 2387–2397. <https://doi.org/10.1021/bi051992u>
- Piva, A., Morlacchini, M., Casadei, G., Gatta, P. P., Biagi, G., & Prandini, A. (2002). Sodium butyrate improves growth performance of weaned piglets during the first period after weaning. *Italian Journal of Animal Science*, 1(1), 35–41. <https://doi.org/10.4081/ijas.2002.35>
- Pluske, J., Turpin, D., Abraham, S., Collins, A., & Dunshea, F. (2018). Lauric acid, a potentially new feed additive for the Australian pork industry. *High Integrity Australian Pork*, 6(3) 1-43.

- Rajagunalan, S., Chakraborty, S., Dhama, K., & Singh, S. V. (2013). Antibiotic resistance - an emerging health problem: Causes, worries, challenges and solutions – A review. *International Journal Current Research*, 5(7), 1880–1892.
- Rehman, A., Jingyi, X., Shuang, L., Fan, L., Hong, C. X., Shenghu, H., & Ji, H. Z. (2019). Comparative efficacy of different chinese herbal extracts in broiler production. *Poultry, Fisheries & Wildlife Sciences*, 07(01), 3–9. <https://doi.org/10.35248/2375-446x.19.7.205>
- Reid, G., & Friendship, R. (2002). Alternatives to antibiotic use: Probiotics for the gut. *Animal Biotechnology*, 13(1), 97–112. <https://doi.org/10.1081/ABIO-120005773>
- Riopérez, J., & Rodríguez-Membibre. (2000). Probióticos: alternativa en la alimentación porcina. *Mundo Ganadero*, 214(19), 38–42.
- Ruzin, A., & Novick, R. P. (2000). Equivalence of lauric acid and glycerol monolaurate as inhibitors of signal transduction in *Staphylococcus aureus*. *Journal of Bacteriology*, 182(9), 2668–2671. <https://doi.org/10.1128/JB.182.9.2668-2671.2000>
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2019). Perspectivas agroalimentarias 2019. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/. Consultado el 6 de marzo de 2020.
- Sáyago-Ayerdi, S. G., Vaquero, M. P., Schultz-Moreira, A., Bastida, S., & Sánchez-Muniz, F. J. (2008). Utilidad y controversias del consumo de ácidos grasos de cadena media sobre el metabolismo lipoproteico y obesidad. *Nutrición Hispana*, 23(3), 191–202.
- Sandhya, S., Joyeeta, T., & Debabrat, B. (2016). Chemical and biological properties of lauric acid: A review. *International Journal of Advanced Research*, 4(4), 144–149. <https://doi.org/10.21474/IJAR01>
- Sarmah, A. K., Meyer, M. T., & Boxall, A. B. A. (2006). A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of

- veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere*, 65(5), 725–759. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.026>
- Santana, M. B. D., Melo, A. D. B., Cruz, D. R., Garbossa, C. A. P, Andrade, C. D., Cantarelli, V. D. S., & Costa, L. (2015). Alternatives to antibiotic growth promoters for weanling pigs. *Ciência Rural*, 45(6), 1093–1098. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140407>
- Sethiya, N. K. (2016). Review on natural growth promoters available for improving gut health of poultry: An alternative to antibiotic growth promoters. *Asian Journal of Poultry Science*, 10(1), 1–29. <https://doi.org/10.3923/ajpsaj.2016.1.29>
- Shilling, M., Matt, L., Rubin, E., Visitacion, M. P., Haller, N. A., Grey, S. F., & Woolverton, C. J. (2013). Antimicrobial effects of virgin coconut oil and its medium-chain fatty acids on *Clostridium difficile*. *Journal of Medicinal Food*, 16(12), 1079–1085. <https://doi.org/10.1089/jmf.2012.0303>
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2019). Expectativas agroalimentarias 2019. Consultado en: <https://www.gob.mx/siap/es/articulos/expectativas-agroalimentarias-2019?idiom=es>
- Skřivanová, E., Marounek, M., Dlouhá, G., & Kaňka, J. (2005). Susceptibility of *Clostridium perfringens* to C2-C18 fatty acids. *Letters in Applied Microbiology*, 41(1), 77–81. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2005.01709.x>
- Suiryanrayna, M. V. A. N., & Ramana, J. V. (2015). A review of the effects of dietary organic acids fed to swine. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0042-z>
- Tangwatcharin, P., Khopaibool, P., Development, C., Campus, P., & Krabang, L. (2012). Activity of virgin coconut oil, lauric acid or monolaurin combination with lactic. *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 43(4), 969–985.
- Thomas, L. L., Woodworth, J. C., Tokach, M. D., Dritz, S. S., DeRouchey, J. M., Goodband, R. D., & Jones, A. M. (2020). Evaluation of different blends of

- medium-chain fatty acids, lactic acid, and monolaurin on nursery pig growth performance. *Translational Animal Science*, 4(2), 1–10. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa024>
- Torres, C., & Zarazaga, M. (2002). Antibióticos como promotores del crecimiento en animales. ¿Vamos por el buen camino? *Gaceta Sanitaria*, 16(2), 109–112. [https://doi.org/10.1016/s0213-9111\(02\)71640-3](https://doi.org/10.1016/s0213-9111(02)71640-3)
- Ulloa-Ramones, L. A. (2011). Laminitis Bovina. 1–91. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3048/1/mv165.pdf%0Ahttp://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/3046/1/mv180.pdf>
- Van Lunen, T. A. (2003). Growth performance of pigs fed diets with and without tylosin phosphate supplementation and reared in a biosecure all-in all-out housing system. *Canadian Veterinary Journal*, 44(7), 571–576.
- Verstegen, M. W. A., & Williams, B. A. (2002). Alternatives to the use of antibiotics as growth promoters for monogastric animals. *Animal Biotechnology*, 13(1), 113–127. <https://doi.org/10.1081/ABIO-120005774>
- Yang, W. Y., Lee, Y., Lu, H., Chou, C. H., & Wang, C. (2019). Analysis of gut microbiota and the effect of lauric acid against necrotic enteritis in *Clostridium perfringens* and *Eimeria* side-by-side challenge model. *PLoS ONE*, 14(5), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205784>
- Yoon, B. K., Jackman, J. A., Valle-González, E. R., & Cho, N. (2018). Antibacterial free fatty acids and monoglycerides: Biological activities, experimental testing, and therapeutic applications. *International Journal Molecular Sciences*, 19. <https://doi.org/10.3390/ijms19041114>
- Zeiger, K., Popp, J., Becker, A., Hankel, J., Visscher, C., Klein, G., & Meemken, D. (2017). Lauric acid as feed additive - An approach to reducing *Campylobacter spp.* in broiler meat. *PLoS ONE*, 12(4), 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175693>
- Zhao, M., Cai, H., Liu, M., Deng, L., Li, Y., Zhang, H., & Feng, F. (2019). Effects of dietary glycerol monolaurate on productive performance, egg quality,

serum biochemical indices, and intestinal morphology of laying hens.
Biomedicine & Biotechnol, 20(11), 877–890

3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN ENGORDA SUPLEMENTADOS CON ÁCIDO LÁURICO EN LA DIETA

3.1 Resumen

Por la prohibición del uso de antibióticos promotores del crecimiento (AGP) en producción animal, esta industria está en constante búsqueda de alternativas que cumplan con las funciones productivas de forma eficiente; una de las opciones es el uso de los ácidos grasos de cadena media (AGCM). El objetivo del estudio fue evaluar la adición de ácido láurico (AL) en la dieta, en peso vivo, ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia en iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización de cerdos en condiciones comerciales. Esta investigación se realizó en una granja comercial en el municipio La Piedad de Cabadas, Michoacán. Se utilizaron 172 cerdos cruzados (Hypor×PIC337) de 56 d de edad y 18 ± 1.69 kg de peso vivo al iniciar el estudio, los cuales se mantuvieron hasta la venta a los 176 d, con una duración del experimento de 120 d. Los cerdos se dividieron en dos grupos, en corrales con capacidad de 90 animales cada uno, con espacio suficiente por animal y disponibilidad de agua a libre acceso. El tratamiento 1 (T1=84 cerdos) fue la dieta testigo, sin adicionar ningún antibiótico en el alimento; el tratamiento 2 (T2=88 cerdos) fue la dieta testigo +2.0 kg/ton (0.2%) de AL del producto DICOSAN en cada etapa. Se utilizó un modelo con sólo el efecto fijo de tratamiento ($Y_{ij} = M + T_{ij} + E_{ij}$) y la información se analizó mediante el procedimiento GLM del programa SAS. En ninguna de las etapas estudiadas se detectaron efectos significativos de tratamiento ($P > 0.05$) para peso vivo T1 vs T2 (iniciación 22.1 vs 22.0 kg, crecimiento 44.2 vs 44.1 kg, desarrollo 78.6 vs 73.1 kg, finalización 101.1 vs 98.2 kg, venta 130.8 kg vs 127.5 kg), ni para ganancia diaria de peso T1 vs T2 (iniciación 0.79 vs 0.79 kg, crecimiento 0.89 vs 0.82 kg, desarrollo 0.88 vs 0.86 kg, finalización 1.06 vs 1.04 kg). Asimismo, los promedios de consumo de alimento y conversión alimenticia sugieren no diferencias entre los tratamientos.

Palabras Clave: cerdos, ácidos grasos de cadena media, ácido láurico, nutrición, monogástricos.

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Juan Daniel Fonseca Gómez

Director de Tesis: Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta

PRODUCTIVE PERFORMANCE OF FATTENING PIGS FED WITH LAURIC ACID

3.2 Abstract

Due to the prohibition of the use of growth promoting antibiotics (AGP) in animal production, this industry is constantly searching for alternatives that fulfill the productive functions efficiently. One of the options is the use of medium chain fatty acids (MCFA). The objective of the study was to evaluate the addition of lauric acid (AL) in the diet, on live weight, weight gain, food intake and feed conversion each of the stages of initiation, growth, development, and finishing of pigs under commercial conditions. This research was carried out at a commercial farm in La Piedad de Cabadas, Michoacán. One hundred seventy-two crossbred pigs (Hypor × PIC337) of 56 days old and 18 ± 1.69 kg of initial live weight were used. They were kept until sale at 176 days, and the experiment lasted 120 days. The pigs were divided into two groups, each in a pen of 90 pigs of capacity, with enough space per animal and free access to water. Treatment 1 (T1=84 pigs) was the control diet, without adding any antibiotics in feed; Treatment 2 (T2=88 pigs) was the control diet +2.0 kg/ton (0.2%) of AL of DICOSAN at each stage. A model with the fixed effect of treatment ($Y_{ij} = \mu + T_{ij} + E_{ij}$) was used, and the information was analyzed using the GLM procedure of the SAS program. It was not detected any significant effect of treatment ($P > 0.05$) on live weight T1 vs T2 (initiation 22.1 vs 22.0 kg, growth 44.2 vs 44.1 kg, development 78.6 vs 73.1 kg, finishing 101.1 vs 98.2 kg, sale 130.8 kg vs 127.5 kg), and daily weight gain T1 vs T2 (initiation 0.79 vs 0.79 kg, growth 0.89 vs 0.82 kg, development 0.88 vs 0.86 kg, finishing 1.06 vs 1.04 kg). Likewise, the averages of feed consumption and feed conversion suggest no differences between treatments.

Key Words: pigs, medium chain fatty acids, lauric acid, nutrition, non-ruminants.

Thesis of Master of Science, Master of Livestock Innovation, Universidad Autónoma Chapingo.
Author: Juan Daniel Fonseca Gómez
Thesis Advisor: Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta

3.3 Introducción

Los antibióticos promotores de crecimiento (AGP) se han utilizado ampliamente durante muchos años en la alimentación animal, especialmente en producción porcina para mejorar los parámetros productivos en las diferentes etapas. Como consecuencia de esta práctica, los microorganismos han generado resistencia, facilitando que los antibióticos se encuentren presentes en los productos finales que los consumidores adquieren (Cromwell, 2002).

La producción porcícola, en forma similar que otros sistemas de producción animal, mantiene una tendencia hacia la obtención de productos orgánicos, inocuos y seguros para la salud de los consumidores, debido a que la demanda de este tipo de proteína animal ha realizado énfasis en el uso, la presencia y eliminación de residuos de antibióticos en la carne. Como resultado de esta actividad, la Unión Europea en 2006 emitió leyes para prohibir el uso de antibióticos en producción animal, ocasionando una tendencia intensificada en la búsqueda de alternativas que cumplan con la función de promotores de crecimiento animal y que sean eficientes. En Canadá se prohibieron estos productos, mediante leyes que entraron en vigor en 2017 (Omonijo, Ni, Gong, Wang, Lahaye, & Yang, 2018).

Actualmente, el mercado de la producción animal cuenta con una amplia gama de productos comerciales con una composición de ingredientes activos específicos y variados, que desempeñan funciones de AGP; dando lugar a productos con ingredientes provenientes de extractos vegetales, ácidos orgánicos, productos marinos, y aceites esenciales de animales, entre otros (Hanczakowska et al., 2017).

Dentro de las alternativas que tienen mayor énfasis de estudio se encuentran los ácidos grasos, los que son de tres tipos, de cadena corta, media y larga. Aunque se han desarrollado investigaciones en las diferentes etapas productivas de los animales de interés zootécnico, existen ventanas de oportunidad de estudio que necesitan analizarse para su futura aplicación en los sistemas de producción

animal. Entre estas ventanas se encuentran los ácidos grasos de cadena media, como los ácidos caproico, caprílico, cáprico y láurico.

Existen estudios realizados por diferentes autores como Batovska, Todorova, Tsvetkova, y Najdenski (2009); De Snoeck, Van der Wolf, Swart, Heiiman, y Ebbinge (2011); Pluske, Turpin, Abraham, Collins, y Dunshea (2018); Sandhya, Joyeeta, y Debabrat (2016); Thomas et al. (2020); Tsiloyiannis, Kyriakis, Vlemmas, y Sarris (2001); los cuales mencionan los beneficios y resultados positivos de adición de ácido láurico en las variables productivas de peso vivo, ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia en etapa de iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización de los cerdos de engorda, debido a que cuenta con propiedades antimicrobianas y antivirales.

El objetivo de este estudio fue evaluar la adición de ácido láurico en la dieta, en consumo de alimento, conversión alimenticia, peso vivo, ganancia de peso de cerdos en iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización en condiciones comerciales.

3.4 Materiales y métodos

El experimento se realizó en una granja comercial ubicada en el municipio de La Piedad de Cabadas, Michoacán, localizada a 1675 m de altitud y temperatura media anual de 17 °C. El clima del sitio experimental se considera templado, con veranos calurosos y lluvias continuas de junio a septiembre, y con una estación invernal no bien definida (García, 2005).

Para el experimento se utilizaron 172 cerdos cruzados (Hypor×PIC337) de 56 d de edad y 18 ± 1.69 kg de peso vivo inicial. Los animales usados iniciaron clínicamente sanos el experimento, los cuales se mantuvieron hasta la venta con edad promedio de 176 d, el experimento duró 120 d, a la venta los animales con 130 kg en promedio.

3.4.1 Tratamientos

Los cerdos se dividieron en dos corrales con capacidad para 90 animales cada uno, asignando de 0.43 a 1.20 m² por animal, equipados con ocho chupones, uno por cada 12 animales y dos comederos húmedos tipo tolva, que permitían tener agua y alimento a libre acceso todo el tiempo para todos los animales. Además, los cerdos se aretaron con el número de cada tratamiento y el número consecutivo de la siguiente manera:

Para el tratamiento 1: T1 #1, T1 #2, T1 #3, ... , T1 #84.

Para el tratamiento 2: T2 #1, T2 #2, T2 #3, ... , T2 #88.

Los cerdos se pesaron individualmente al inicio del experimento, se pesaron a los 56 d, y posteriormente en cada cambio de etapa: en crecimiento a 84 d, desarrollo a 120 d, finalización a 147 d, y el último pesaje, en la venta a 176 d de edad.

3.4.2 Alimentación

La alimentación se realizó en cuatro etapas como se observa en el Cuadro 3: iniciación (56-83 d), crecimiento (84-120 d), desarrollo (121-146 d) y finalización (147-176 d). Se ofreció al tratamiento 1, una dieta comercial utilizada por la granja; para el tratamiento 2, se ofreció la misma dieta comercial, adicionada con 2.0 kg del producto DICOSAN tonelada⁻¹ de alimento, el mismo nivel de inclusión de producto se mantuvo en cada etapa de la engorda.

El alimento se ofreció en la mañana cerca de las 9:00 h, brindando la mitad del consumo asignado por día por cerdo multiplicado por 84 para T1 y por 88 en T2, el resto a las 13:00 h más 10% adicional, contando con alimento suficiente para todos los animales durante el día, tarde y noche. Al día siguiente por la mañana se realizó la lectura y medición del alimento rechazado, de esta forma se obtuvo el consumo promedio del día anterior por tratamiento.

Cuadro 3. Composición de las dietas y análisis nutrimental calculado para el alimento de iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización ofrecidas en la engorda de cerdos.

Tratamiento 1				
Etapas	Iniciación	Crecimiento	Desarrollo	Finalización
Peso de cerdo (kg)	15-30	30-55	55-85	85-110
Ingrediente	kg	kg	kg	Kg
Sorgo	640	711	724	736
Maíz	130	95	89	85
Pasta de soya (47%)	168	135	95	80
Aceite vegetal	25	20	5	-
Salvado de trigo	-	-	49	59
Sal	4	8	10	12
Carbonato de calcio	1	1	3	3
Núcleo (minerales)	32	30	25	25
Total (kg)	1000	1000	1000	1000
Tratamiento 2				
Etapas	Iniciación	Crecimiento	Desarrollo	Finalización
Peso de cerdo (kg)	15-30	30-55	55-85	85-110
Ingrediente	kg	kg	kg	Kg
Sorgo	640	711	724	736
Maíz	130	95	89	85
Pasta de soya (47%)	168	135	95	80
Aceite vegetal	25	20	5	-
Salvado de trigo	-	-	49	59
Sal	4	8	10	12
Carbonato de calcio	1	1	2	2
Dicosan	2	2	2	2
Núcleo (minerales)	30	28	24	24
Total (kg)	1000	1000	1000	1000
Análisis calculado				
Nutriente	Iniciación	Crecimiento	Desarrollo	Finalización
Proteína PC %	18.5	17.5	16.5	16.3
Fibra %	4	4	4	4.1
Cenizas %	6	7	7	7
Grasas %	5	3.2	3.6	3.5
Humedad %	9	11	12	11
Calcio %	0.7	0.65	0.58	0.53
Fosforo %	0.55	0.5	0.45	0.45
Sal %	0.04	0.04	0.04	0.04

Fuentes: Laboratorio de calidad, Grupo Garleón. NRC (2012); Rostagno et al. (2017).

Debido a que el experimento se realizó en condiciones de una granja comercial, no fue posible medir el consumo individual de los cerdos, solo se obtuvieron promedios diarios de cada tratamiento. En el caso de la conversión alimenticia, la situación es similar, solo se obtuvieron resultados por etapa de cada tratamiento, en ambos casos, no se efectuó un análisis estadístico para reportar en el trabajo.

3.5 Variables de respuesta del comportamiento productivo

Las variables de respuesta fueron consumo de alimento (C), conversión alimenticia (CA), peso vivo (PV) y ganancia diaria de peso (GDP). Todos los parámetros se evaluaron en cada etapa de la engorda.

3.5.1 Peso vivo (kg)

Los cerdos se pesaron individualmente al inicio de cada etapa, comenzando con la etapa de iniciación a partir de 56 d de edad, crecimiento a 84 d, desarrollo a 119 d, finalización a 147 d, la venta se realizó a 176 d, esto marca el inicio y final de cada etapa de engorda del cerdo. De esta forma se obtuvo el peso individual de cada cerdo durante cada etapa.

3.5.2 Consumo de alimento (kg/día)

Esta variable se obtuvo de la diferencia del alimento ofrecido durante el día a cada tratamiento, menos el alimento rechazado medido al día siguiente por la mañana, dividido entre el número de animales de cada corral, dando el consumo promedio diario de alimento por corral por cada etapa de la engorda; el consumo se representa con la siguiente ecuación:

$$CON/d = \frac{\text{Alimento ofrecido}(kg) - \text{Alimento rechazado}(kg)}{\# \text{ de animales}}$$

3.5.3 Ganancia diaria de peso (kg/día)

Esta variable se obtuvo restando el peso final del cerdo individualmente de los 84 cerdos del T1 y de 88 cerdos del T2 en cada etapa menos el peso inicial en la misma dividido entre los días que se ofreció el alimento, la ecuación es:

$$GDP = \frac{\text{Peso final (kg)} - \text{Peso inicial(kg)}}{\text{dias del experimento}}$$

3.5.4 Conversión alimenticia (kg)

Esta variable, se obtuvo de la relación entre el acumulado de consumo diario de alimento de cada etapa y la ganancia diaria peso de cada etapa, se reportó en promedios por etapa; se traduce en kilogramos de alimento para producir un kilogramo de carne, se representa de la siguiente forma:

$$CA (kg) = CON/GDP$$

3.5.5 Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el programa Statistical Analysis System 9.4 (SAS, 2016); con un diseño completamente al azar, con solo el efecto fijo de tratamiento, usando el procedimiento GLM, para las variables de respuesta estudiadas de peso vivo (PV) y ganancia diaria de peso (GDP).

Para las variables de consumo de alimento (C) y conversión alimenticia (CA), solo se presentan los promedios por etapa, ya que no se pudieron medir individualmente, debido a las condiciones en la cual se llevó a cabo el experimento de una granja comercial.

El modelo utilizado para el análisis estadístico de peso vivo (PV) y ganancia diaria de peso (GDP) fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

donde:

Y_{ij} = j-ésima medición de la variable de respuesta en el i-ésimo tratamiento,

μ = media general,

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento, y

E_{ij} = error experimental asociado con la j-ésima medición de la variable de respuesta en el i-ésimo tratamiento.

3.6 Resultados y discusión

3.6.1 Consumo de alimento

En el Cuadro 4, puede observarse que no hubo diferencias significativas ($P>0.05$) para consumo diario de alimento en todas las etapas, aunque en la etapa de iniciación, el tratamiento 2 (T2) adicionado con AL mostró un consumo de alimento 2% mayor. Por el contrario, los investigadores Decuypere y Dierick (2003); Jordan (2018); Partanen, Siljander-Rasi, Pentikinen, Pelkonen, y Fossi (2007); y Thomas et al. (2020) mencionaron que la inclusión de combinaciones de ácidos grasos de cadena media aumenta 10% el consumo en promedio respecto al tratamiento testigo. Estos autores argumentaron que los efectos en los lechones en etapa de iniciación son mayores, ya que el consumo se ve afectado positivamente, debido a los AGCM que se incorporan en la dieta a temprana edad, modificando el pH gástrico, el cual reduce para la activación de enzimas proteolíticas, aumentando el tiempo de acción sobre el alimento y mejorando la digestión de las proteínas; siendo la primera fase después del destete de las más críticas durante la engorda, debido a que existe un cambio de la morfología intestinal, reduciendo la capacidad de consumo de alimento, la absorción, y realizando cambios en la microbiota que pueden provocar una deficiencia energética.

Cuadro 4. Consumo diario promedio de alimento por etapa de crecimiento del cerdo (kg).

Etapas	Tratamiento 1 (kg)	Tratamiento 2 (kg)
Iniciación	1.38	1.41
Crecimiento	2.03	1.94
Desarrollo	2.50	2.52
Finalización	2.75	2.76

Lo anterior fue diferente en una investigación realizada en lechones en preiniciación e iniciación, donde se adicionó AL saponificado que no redujo el consumo de alimento (Giorgi, Comi, Ghiringhrlli, & Bontepo, 2018). En contraste, para la etapa de crecimiento, que de igual forma no hubo diferencias significativas ($P>0.05$) en este estudio, en T1 fue 4.6% mayor que T2, contrario a lo observado por otros investigadores, quienes informan que al adicionar AGCM en dieta para cerdos en esta etapa se logran resultados favorables que incrementan el consumo diario de alimento después del destete en 16%, debido al aumento de la digestibilidad aparente de proteínas y aminoácidos.

Además, el uso de ácidos grasos provoca un efecto del apetito por influir en las hormonas como insulina y acil grelina, también influye la absorción de ácidos grasos en el sistema portal sin la resíntesis de triacilglicerol en las células intestinales, predominando a una oxidación ácida por el hígado, otro efecto que puede perjudicar son los cuerpos cetónicos que se producen (Geng, Zhang, Li, Jin, Yan, & Jin, 2016; Partanen et al., 2007; Piva, Morlacchini, Casadei, Gatta, Biagi, & Prandini, 2002; Sáyago-Ayerdi, Vaquero, Schultz-Moreira, Bastida, & Sánchez-Muniz, 2008).

De igual manera que la etapa anterior, las etapas de desarrollo y finalización la tendencia fue similar entre tratamientos, manteniendo consumos similares de los cerdos, siendo de 2.505 vs 2.524 kg, y 2.751 vs 2.767 kg, respectivamente

($P>0.05$). Lo anterior opuesto a lo mencionado por Mroz et al. (2006), quienes adicionaron diferentes ácidos en la dieta de cerdos en engorda y consiguieron resultados positivos de mejora en los parámetros productivos de los animales para venta, optimizando la digestibilidad aparente de los nutrimentos y de los minerales, además de reducir las excreciones de nitrógeno y fósforo.

Thomas et al. (2020) adicionaron AL en la dieta al 1%, obteniendo un aumento en 0.9 kg de consumo de alimento promedio en contraste con la dieta testigo. En otro estudio se encontró que el consumo aumentó 12% cuando se adiciona ácidos de cadena media en lugar de cadena larga (Decuyper & Dierick, 2003). Otros autores informan que el consumo se benefició con la adición de ácidos de cadena media con mayor proporción de AL, ayudando a la rápida absorción de los ácidos en hígado, ya que aumenta el ATP ocasionando un equilibrio energético en el sistema, así como una mejora de la digestibilidad de proteínas.

Existen otros factores que afectan el consumo de alimento, como los cuerpos cetónicos, concentración de insulina, colecistoquinina, ya que modifican la microbiota del intestino, reduciendo el conteo de bacterias de ácido láctico en el estómago e intestino delgado (Geng et al., 2016; Lai, Yen, Lin, & Chiang, 2014; Price, Lin, Van Heugten, Odle, Willis, & Odle, 2013).

Por el contrario, otros autores informaron que la leptina, hormona reguladora del apetito no afecta el consumo de alimento en ninguna etapa (Ooyama, Kojima, Aoyama, & Takeuchi, 2009). En otra investigación se observó que adicionar AL en la dieta, en dosis de 2 a 5%, en cerdos en finalización afectó el consumo diario de alimento, reduciéndolo entre 9 y 10.2% (Pluske, Turpin, Abraham, Collins, & Dunshea, 2018).

En la Figura 2, puede observarse el patrón de comportamiento del consumo diario de alimento, de los cerdos en los dos tratamientos, a través del periodo de engorda. Se presenta un comportamiento similar durante los primeros días de edad, iniciando desde el día 49 hasta el día 119, en este día es cuando comienzan la etapa de desarrollo, después de este se observa un ligero

comportamiento distinto entre tratamientos, siendo los cerdos T1 los de mayor consumo, el cual se mantuvo hasta el día 159, donde después el comportamiento de los tratamientos se vuelve similar hasta la venta.

Además, se observa que el consumo diario comienza a reducir paulatinamente conforma avanzan los días. El comportamiento de consumo de alimento para cada etapa de crecimiento del cerdo es similar a lo descrito en los diferentes cuadros de requisitos nutrimentales (NRC, 2012; Rostagno et al., 2017).

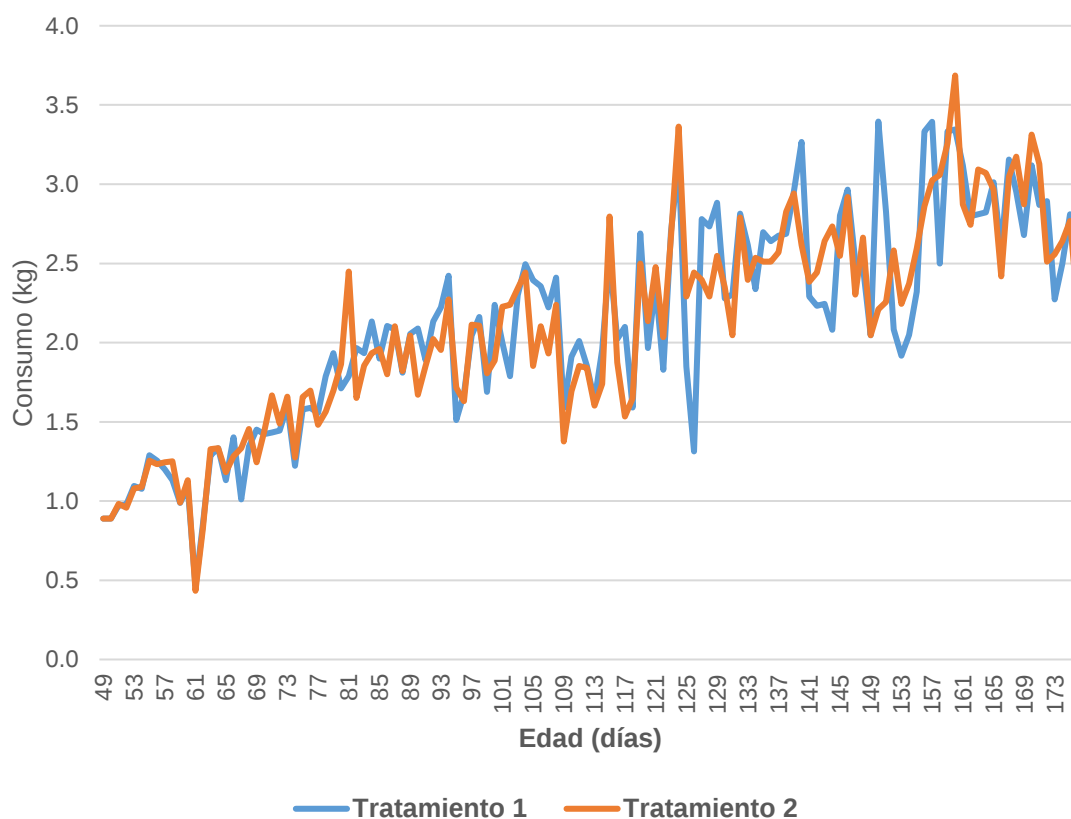


Figura 2. Consumo diario de alimento por tratamiento durante el crecimiento del cerdo (kg).

3.6.2 Conversión alimenticia

En Cuadro 5, se observan los promedios de conversión alimenticia por cada tratamiento. Estos resultados muestran en cada etapa una similitud entre tratamientos, es decir no hubo efectos positivos del ácido láurico.

Cuadro 5. Conversión alimenticia promedio por etapa de crecimiento del cerdo (kg).

Etapa	Tratamiento 1 (kg)	Tratamiento 2 (kg)
Iniciación	1.752	1.787
Crecimiento	2.275	2.346
Desarrollo	2.847	2.918
Finalización	2.590	2.639

En la etapa de iniciación hubo una diferencia entre tratamientos de 1.9%, en crecimiento la diferencia fue de 0.071 kg o 3%, provocando que el AL perjudique la eficiencia de utilización del alimento. Estos resultados difieren con Giorgi et al. (2018), los cuales obtuvieron una mejora de 16% en la eficiencia de utilización de alimento en la etapa de preiniciación e iniciación del lechón al usar AL saponificado.

Por otro lado, Kuang et al. (2015) obtuvieron resultados similares al mejorar en 14% la conversión, utilizando AL y ácido cáprico en la dieta de lechones de inicio, esto se podría deber, que adicionar una fuente de AL, aumenta la disponibilidad de glucógeno por ende de energía, ayudando a satisfacer las necesidades nutrimentales con menor cantidad de alimento.

En otros estudios, señalan que en lechones durante los primeros 21 días después del destete, usando diferentes concentraciones de ácidos grasos, hace 7% más eficiente la utilización de alimento en la conversión alimenticia, debido a que las concentraciones de la proteína total aumentan y la disminución de nitrógeno disminuyen a niveles de plasma después de 14 días de alimentación (Li et al., (2015).

En la etapa de desarrollo, el contraste entre Tratamiento 1 con 2.847 y T2 con 2.918 kg, la diferencia en 2.4%, indicando que la adición de ácido láurico no beneficia el aprovechamiento de alimento. Estos resultados, no difieren de Decuyper y Dierick (2003), quienes incluyeron combinaciones de ácidos grasos

de cadena media en la etapa de desarrollo y finalización, reduciendo hasta 3% la conversión.

Para la etapa de finalización, la diferencia entre tratamientos fue 1.8%, donde T1 obtuvo 2.59 vs 2.639 kg de T2, lo que hace menos eficiente incluir AL en la dieta. Durante las cuatro etapas de engorda del cerdo, el mejor comportamiento de eficiencia del alimento se observó en T1, es decir, se necesitan menos kg de alimento para producir un kg de carne. Estos datos no concuerdan con los observados en un estudio por Thomas et al. (2020), que adicionaron ácido láurico al 2% en la dieta en cerdos en inicio, desarrollo y finalización, disminuyendo la conversión alimenticia en 3.7% en comparación con la dieta testigo.

En contraste con los de otros autores, Geng et al. (2016) encontraron que adicionar hasta 6% de monoglicérido de AL en la dieta, aumentó el rendimiento del alimento para conversión en 10%, mientras que un mayor nivel de inclusión perjudicó el crecimiento del cerdo en 15%. Otros autores como Price et al. (2013), concuerdan que reduce 29% la conversión alimenticia al final del ciclo productivo, por una mayor disponibilidad de glucógeno y reducción de la carga microbiana a lo largo de toda la engorda.

Además, Lai et al. (2014) y Yen et al. (2015) señalan que la combinación de AGCM para la alimentación de cerdos, modifica positivamente la microbiota del intestino delgado, aumentando la eficiencia del alimento para conversión alimenticia en cerdos jóvenes. También Hanczkowska et al. (2017) encontraron que se reduce la conversión de alimento en 7.4%, al adicionar combinaciones de ácidos grasos de cadena media.

Los resultados de este estudio difieren de lo informado por Papatsiros (2012), quien utilizó ácidos grasos medios, obteniendo una mejora de 5% en la eficiencia de utilización del alimento durante la etapa de finalización. En otro estudio, Pluske et al. (2018) encontraron que se mejoró la conversión alimenticia del cerdo en la etapa de finalización 4.9% y 1.7%, al incluir AL en la dieta en dosis de 2.5 y 5% respectivamente.

Existen diversos estudios como Zentek et al. (2013); Batovska et al. (2009); y Tsiloyiannis et al. (2001), los cuales sustentan, que el uso de ácidos grasos mejora el desempeño de crecimiento del cerdo, por consiguiente, el uso de alimento, logrando mejores conversiones al final de la engorda. Otros autores sugieren que la disposición de energía es mayor e inmediata en la primera etapa de engorda, ayudando a cubrir necesidades energéticas, aunque esta disposición inmediata de energía afecta notablemente las etapas de engorda siguientes, por su eliminación de la circulación y oxidación que no generan deposición grasa (Li et al., 2015).

3.6.3 Peso vivo

En peso vivo por etapa no hubo diferencias significativas ($P>0.05$) entre los tratamientos (Cuadro 6). En la etapa de iniciación el peso vivo promedio obtenido fue similar 22.1 kg del T1 vs 22.0 kg del T2. Esto coincide con Giorgi et al. (2018), quienes no obtuvieron efecto positivo de la variable con la inclusión de AL saponificado al 1% durante esta etapa. Otros autores (Yen, Lai, Lin, & Chiang, 2015) indican que usar ácidos de cadena media mejoran el peso vivo por la modificación del ambiente microbiano intestinal en lechones, lo cual no concuerda con lo encontrado en este trabajo.

Cuadro 6. Peso vivo promedio por etapa de crecimiento del cerdo (kg).

Etapa	Tratamiento 1 (kg)	Tratamiento 2 (kg)	Pr>F
Iniciación	22.1±0.23 ^a	22.0±0.23 ^a	0.815
Crecimiento	44.2±0.23 ^a	44.1±0.23 ^a	0.906
Desarrollo	75.6±0.43 ^a	73.1±0.46 ^a	0.864
Finalización	101.1±1.06 ^a	98.2±1.11 ^a	0.064
Venta	130.8±1.36 ^a	127.5±1.4 ^a	0.105

^a Medias con diferente letra en la misma fila son diferentes estadísticamente ($P<0.05$).
± EEM (Error Estándar de la Media).

En la etapa de crecimiento tampoco hubo diferencias 44.2 vs 44.1 kg ($P>0.05$). Lo anterior podría deberse a que el uso de ingredientes de alta digestibilidad no beneficia el peso vivo, por la reducción en tiempo de los nutrimentos en intestino, que limitan la liberación de hormonas, como péptidos durante las primeras etapas, ocasionando un retraso en las etapas siguientes por la mala adaptación a la dieta (Price et al., 2013; Zentek, Ferrara, Pieper, Tedin, Meyer, & Vahjen, 2013).

En la etapa de desarrollo y finalización no existieron efectos significativos por la adición de ácido láurico en la dieta, con 75.6 vs 73.1 kg en desarrollo, y de 101.1 vs 98.2 kg en finalización ($P>0.05$); estos resultados son diferentes a lo informado por diversos autores, que indican que al incorporar ácidos de cadena media en un rango del 1 al 2% en la dieta para cerdos en finalización, contribuyen en el rendimiento del peso final del cerdo, debido a que cuentan con el mejor desarrollo de las vellosidades intestinales, lo que aumenta el área de absorción de nutrimentos (Jackman, Boyd, & Elrod, 2020).

Otros autores observaron que mejora el peso vivo en 5.3% para la etapa final, por la intervención antimicrobiana del ácido láurico en el intestino, manteniendo libre de poblaciones nocivas para el cerdo, además, regula el pH, lo cual favorece la reducción de enfermedades gástricas, como úlceras en estómago e intestino (Hanczakowska, Szewczyk, Świątkiewicz, & Okon, 2013).

En los pesos vivos de la venta encontrados en esta investigación 130.8 de T1 vs 127.5 kg de T2, no se detectaron diferencias significativas ($P>0.05$). Estos resultados coinciden con otras investigaciones, los cuales mencionan que los AGCM no favorecen el peso vivo de venta de animales, debido a que dependen del estado fisiológico del animal, así como de las condiciones sanitarias en las cuales se mantienen en la granja (Boas et al., 2016; De Vogel-van den Bosch et al., 2011).

3.6.4 Ganancia diaria de peso

Las medias de ganancia diaria de peso promedio por etapa se muestran en el Cuadro 7, en el cual se observa que no hubo diferencias significativas ($P>0.05$) entre tratamientos para ninguna etapa productiva. En la etapa de iniciación se observó un resultado similar de los tratamientos, con 0.791 y 0.790 kg, respectivamente. Este resultado fue similar a un estudio (Giorgi et al., 2018) donde se incluyó 1 kg tonelada⁻¹ de AL saponificado con sales, sin obtener un incremento en la ganancia del lechón, ya que en esta edad el sistema digestivo no se ha desarrollado por completo, y esto reduce las posibilidades de mayor absorción de nutrimentos.

Cuadro 7. Ganancia diaria de peso promedio por etapa de crecimiento del cerdo (kg).

Etapa	Tratamiento 1 (kg)	Tratamiento 2 (kg)	Pr>F
Iniciación	0.79±0.016 ^a	0.79±0.017 ^a	0.1851
Crecimiento	0.89±0.012 ^a	0.82±0.012 ^a	0.9869
Desarrollo	0.88±0.021 ^a	0.86±0.021 ^a	0.0860
Finalización	1.06±0.022 ^a	1.04±0.020 ^a	0.0621

^z Medias con diferente letra en la misma fila son diferentes estadísticamente ($P<0.05$).

± EEM (Error Estándar de la Media).

Sin embargo, existen investigaciones en las que se han detectado respuestas positivas a la adición de AGCM. Piva et al. (2002) encontraron que adicionar AGCM en una proporción de 3 kg tonelada⁻¹ de alimento, aumentó 20% la ganancia diaria de peso, lo que fue superior a lo encontrado en el presente estudio. Estos resultados podrían deberse a que los ácidos grasos de cadena corta son aprovechados por los lechones con mayor facilidad que los ácidos de cadena media.

Otros autores (Li et al., 2015) mencionan que adicionar AGCM a diferentes concentraciones (0.7, 1.4 y 2.1%) incrementó la ganancia diaria de peso hasta 9% en los primeros 21 d después de destete. Otros autores mencionan que se mejora un 10% la ganancia de peso final de los cerdos al usar ácidos de cadena

media (Decuypere & Dierick, 2003). En otra investigación se mejoró la ganancia diaria de peso para lechones en 7.08% al adicionar una combinación de AL y ácido cáprico al 3% con respecto al control (Kuang et al., 2015).

La inclusión temprana pos-destete de ácidos grasos en la dieta, aumenta los niveles energéticos, el tamaño de las vellosidades incrementa en el yeyuno, duodeno e íleon; incrementando la absorción de nutrimentos, como la absorción de calcio y aminoácidos para aumentar la síntesis de proteínas intracelulares y desarrollar la procreación de células del epitelio, obteniendo una mayor ganancia de peso y beneficiando a cada etapa de crecimiento del cerdo (Chwen, Foo, Thanh, & Choe, 2013).

En una investigación realizada por Thomas et al. (2020), estos autores encontraron que adicionar AL favoreció la ganancia diaria de peso de los cerdos al finalizar el ciclo productivo, lo que es opuesto a los resultados encontrados en este estudio, con 1.06 de T1 vs 1.04 kg de T2. Estos resultados pueden deberse a lo mencionado por De Vogel-van den Bosch et al. (2011), quienes utilizaron ácidos grasos de cadena media y encontraron un bajo peso en ratas y cerdos, atribuidas a la deposición de lípidos ectópicos y a la resistencia de insulina, lo que impidió una mejor eficiencia en el uso de la glucosa.

En la Figura 3, se muestran los pesos acumulados para cada etapa de crecimiento del cerdo. En la etapa 1 se observa el mismo resultado con 22.1 kg para cada tratamiento, sin obtener efectos positivos del AL, por lo que es evidente las diferencias no fueron significativas ($P>0.05$).

Los resultados son contrarios a los publicados por Tsiloyiannis, Kyriakis, Vlemmas, y Sarris (2001). Estos autores adicionaron AGCM en esta etapa, mostrando ganancias 7% por arriba del tratamiento control. Esto pudo deberse al control de la diarrea que se produce durante esta fase de alimentación y diversos factores que producen estrés a los lechones provocan una disminución de las vellosidades intestinales, produciendo una mala absorción de los nutrimentos; además, los cambios de peso se relacionan a la incapacidad de

producir suficiente ácido clorhídrico para bajar el pH estomacal. También se ha demostrado que es posible aumentar el peso vivo de lechones en los siguientes 21 días después del destete, ayudando a mitigación de patógenos en intestino (Jordan, 2018; Li et al., 2015).

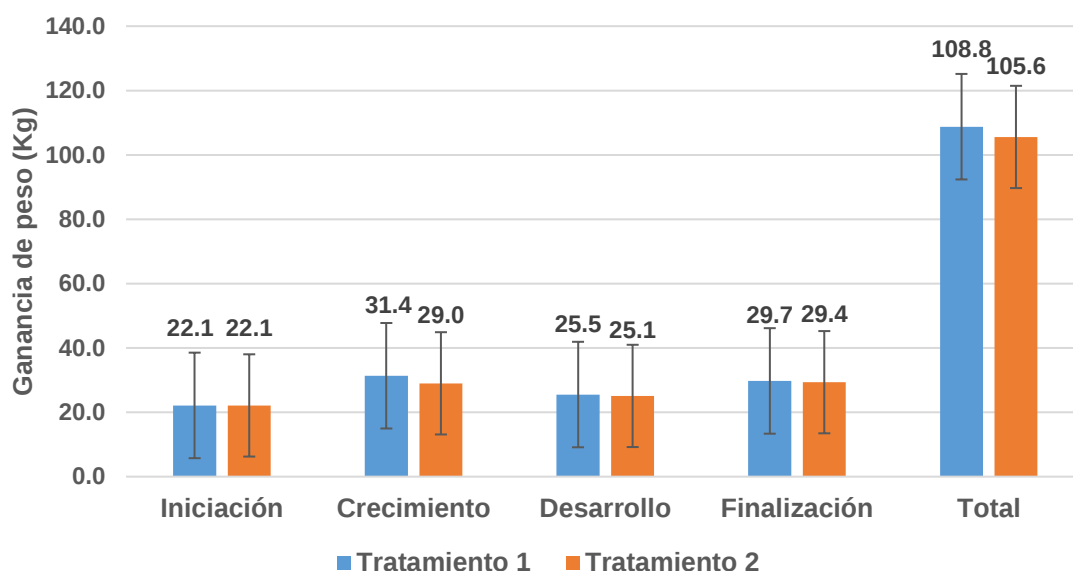


Figura 3. Ganancia de peso acumulada por tratamiento en cada etapa de crecimiento del cerdo (kg).

En la etapa de crecimiento tampoco hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos. El T1 con 31.4 kg fue superior al T2 por 7.6% con 29.0 kg, lo que se traduce en 2.4 kg de peso más de beneficio sin la adición de AGCM. Respecto a la etapa de desarrollo solo ocurrió una diferencia positiva para T1 por 0.4 kg en comparación con T2, no mostrando efectos.

En el acumulado durante toda la engorda, el Tratamiento 1 obtuvo 108.8 kg y el T2 105.6 kg, dando un margen de diferencia de 3.2 kg o 2.9 %. Estudios realizados por Geng et al. (2016) obtuvieron mayores ganancias de peso, con la adición de AGCM con mayor proporción de ácido láurico, ocasionando un mayor peso vivo durante cada etapa; una de las razones a las cuales se atribuyen estos resultados es por la influencia de los ácidos sobre las hormonas del apetito y el mantenimiento del equilibrio energético.

Por el contrario, Price et al. (2013) publicaron que se reduce hasta 21% el peso vivo, cuando se usan ácidos grasos de cadena media en la etapa de finalización. Algunos resultados difieren en cuanto al uso de AGCM en cerdos, esto se debe a que existen diversos factores como la composición de la dieta, fuente de ácidos grasos, el grado de suplementación y el porcentaje de adición en la dieta y el estado fisiológico de los animales (Li et al., 2015).

Otras fuentes indican que se modifica la concentración de ácidos grasos para su disposición en el yeyuno, alterando la microflora intestinal, también modifica el íleon y ciego, siendo el ácido glucónico en diferentes concentraciones el que optimiza el rendimiento en lechones después del destete y favoreciendo las siguientes etapas (Biagi, Piva, Moschini, Vezzali, & Roth 2006).

La falta de mejoría en las variables estudiadas podría corresponder a la ausencia de un desafío en los cerdos, es decir, a retos sanitarios durante la engorda, así como del uso de diferentes niveles de inclusión de ácido láurico en la dieta en cada etapa de iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización.

3.7 Conclusión

La adición de ácido láurico en 2% de la dieta de los cerdos en engorda no influye en el comportamiento productivo del peso vivo y la ganancia de peso en las etapas de iniciación, crecimiento, desarrollo y finalización. Una situación similar es posible para el consumo de alimento y la conversión alimenticia; sin embargo, se requiere probar las significancias estadísticas en experimentos diseñados ex profeso para esas variables.

3.8 Literatura citada

Batovska, D. I., Todorova, I. V. A. T., Tsvetkova, I. V. A. V, & Najdenski, H. M. (2009). Antibacterial study of the medium chain fatty acids and their 1-Monoglycerides: Individual effects and synergistic relationships. *Polish Journal of Microbiology*, 58(1), 1-24.

- Biagi, G., Piva, A., Moschini, M., Vezzali, E., & Roth, F. X. (2006). Effect of gluconic acid on piglet growth performance, intestinal microflora, and intestinal wall morphology. *Journal of Animal Science*, 84(2), 370–378. <https://doi.org/10.2527/2006.842370x>
- Boas, A. D. C. V., Budiño, F. E. L., Neto, M. A. T., Schmidt, A., Dadalt, J. C., Monferdini, R. P., Sitanaka, N. Y., Moraes, J. E., & Pizzolante, C. C. (2016). Organic acids in diets of weaned piglets: Performance, digestibility and economical viability. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 68(4), 1015–1022. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-8501>
- Chwen, L. T., Foo, H. L., Thanh, N. T., & Choe, D. W. (2013). Growth performance, plasma fatty acids, villous height and crypt depth of preweaning piglets fed with medium chain triacylglycerol. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(5), 700–704. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12561>
- Cromwell, G. L. (2002). Why and how antibiotics are used in swine production. *Animal Biotechnology*, 13(1), 7–27. <https://doi.org/10.1081/ABIO-120005767>
- De Vogel-van den Bosch, J., Van Den Berg, S. A. A., Bijland, S., Voshol, P. J., Havekes, L. M., Romijn, H. A., Hoeks, J., van Beurden, D., Hesselink, M. K. C., Schrauwen, P., & van Dijk, K. W. (2011). High-fat diets rich in medium- versus long-chain fatty acids induce distinct patterns of tissue specific insulin resistance. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 22(4), 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2010.03.004>
- De Snoeck, S., Van der Wolf P., Swart, W., Heiiman, E., & Ebbinge, B. (2011). The effect of the application of mono-lauric acid with glycerol mono-laurate in weaned piglets, on the use of antimicrobials in sow herds. *Safe Pork*, 2(4), 346–348.
- Decuyper, J. A., & Dierick, N. A. (2003). The combined use of triacylglycerols containing medium-chain fatty acids and exogenous lipolytic enzymes as an alternative to in-feed antibiotics in piglets: Concept, possibilities and

- limitations. An overview. *Nutrition Research Reviews*, 16(2), 193–210.
<https://doi.org/10.1079/nrr200369>
- García, E. (2005). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de geografía. UNAM. México. 5ta. Edición. Disponible en: http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf. Consultado el 28 de mayo del 2020.
- Geng, C. Y., Zhang, M., Li, C. Y., Jin, Y. H., Yan, C. G., & Jin, Y. (2016). Effectiveness of medium-chain fatty acids on feed intake and weight gain in animal: Depending on balance. *Indian Journal of Animal Research*, 50(6), 885–892. <https://doi.org/10.18805/ijar.v0iOF.4554>
- Giorgi, S., Comi, M., Ghiringhelli, M., & Bontempo, V. (2018). The saponification of lauric acid with calcium soaps as an alternative to in-feed antibiotics in post-weaning piglets. *International Journal of Health, Animal Science and Food Safety*, 5(1s), 7–8. <https://doi.org/10.13130/2283-3927/10041>
- Hanczakowska, E., Szewczyk, A., Świątkiewicz, M., & Okon, K. (2013). Short- and medium-chain fatty acids as a feed supplement for weaning and nursery pigs. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 16(4), 647–654. <https://doi.org/10.2478/pjvs-2013-0092>
- Hanczakowska, E., Księżak, J., & Świątkiewicz, M. (2017). Efficiency of lupine seed (*Lupinus angustifolium* and *Lupinus luteus*) in sow, piglet and fattener feeding. *Agricultural and Food Science*, 26(1), 1–15. <https://doi.org/10.23986/afsci.59407>
- Jackman, J. A., Boyd, R. D., & Elrod, C. C. (2020). Medium-chain fatty acids and monoglycerides as feed additives for pig production: towards gut health improvement and feed pathogen mitigation. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 1(11:44), 1–15.
- Jordan, T. G. (2018). Effect of dietary medium chain fatty acids on nursery pig growth performance, fecal microbial composition, and mitigation properties against porcine epidemic diarrhea virus following storage. *American Society of Animal Science*, 40, 1–30. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofy003/4791932>

- Kuang, Y., Wang, Y., Zhang, Y., Song, Y., Zhang, X., Lin, Y., ..., & Fang, Z. (2015). Effects of dietary combinations of organic acids and medium chain fatty acids as a replacement of zinc oxide on growth, digestibility and immunity of weaned pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 208, 145–157. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.07.010>
- Lai, W. K., Yen, H. C., Lin, C. S., & Chiang, S. H. (2014). The effects of dietary medium-chain triacylglycerols on growth performance and intestinal microflora in young pigs. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 23, 331–336.
- Li, Y., Zhang, H., Yang, L., Zhang, L., & Wang, T. (2015). Effect of medium-chain triglycerides on growth performance, nutrient digestibility, plasma metabolites and antioxidant capacity in weanling pigs. *Animal Nutrition*, 1(1), 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2015.02.001>
- Mroz, Z., Koopmans, S., Bannink, A., Partanen, K., Krasucki, W., Øverland, M., & Radcliffe, S. (2006). Carboxylic acids as bioregulators and gut growth promoters in nonruminants. *Biology of Nutrition in Growing Animals*, 4, 81–133. [https://doi.org/10.1016/S1877-1823\(09\)70091-8](https://doi.org/10.1016/S1877-1823(09)70091-8)
- NRC. National Research Council. (2012). Nutrient Requirements of Swine 11th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Omonijo, F. A., Ni, L., Gong, J., Wang, Q., Lahaye, L., & Yang, C. (2018). Essential oils as alternatives to antibiotics in swine production. *Animal Nutrition*, 4(2), 126–136. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.09.001>
- Ooyama, K., Kojima, K., Aoyama, T., & Takeuchi, H. (2009). Decrease of food intake in rats after ingestion of medium-chain triacylglycerol. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 55(5), 423–427. <https://doi.org/10.3177/jnsv.55.423>
- Partanen, K., Siljander-Rasi, H., Penttinen, J., Pelkonen, S., & Fossi, M. (2007). Effects of weaning age and formic acid-based feed additives on pigs from weaning to slaughter. *Archives of Animal Nutrition*, 61(5), 336–356. <https://doi.org/10.1080/17450390701556866>

- Piva, A., Morlacchini, M., Casadei, G., Gatta, P. P., Biagi, G., & Prandini, A. (2002). Sodium butyrate improves growth performance of weaned piglets during the first period after weaning. *Italian Journal of Animal Science*, 1(1), 35–41. <https://doi.org/10.4081/ijas.2002.35>
- Pluske, J., Turpin, D., Abraham, S., Collins, A., & Dunshea, F. (2018). Lauric acid, a potentially new feed additive for the Australian pork industry. *High Integrity Australian Pork*, 6(3) 1-43.
- Price, K. L., Lin, X., Van Heugten, E., Odle, R., Willis, G., & Odle, J. (2013). Diet physical form, fatty acid chain length, and emulsification alter fat utilization and growth of newly weaned pigs. *Journal of Animal Science*, 91(2), 783–792. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5307>
- Rostagno, H. S., Texeira, L. F. A., Hannas, M. I., Donzele, J. L., Sakomura, N. K., Perazzo, F., & de Oliveira, B. C. (2017). Tablas brasileñas para aves y cerdos. Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales (4ª ed). Viçosa, Brasil: MG UFV.
- Sáyago-Ayerdi, S. G., Vaquero, M. P., Schultz-Moreira, A., Bastida, S., & Sánchez-Muniz, F. J. (2008). Utilidad y controversias del consumo de ácidos grasos de cadena media sobre el metabolismo lipoproteico y obesidad. *Nutrición Hispana*, 23(3), 191–202.
- Sandhya, S., Joyeeta, T., & Debabrat, B. (2016). Chemical and biological properties of lauric acid: A review. *International Journal of Advanced Research*, 4(4), 144–149. <https://doi.org/10.21474/IJAR01>
- SAS (Statistical Analysis System) (2016). SAS Institute Inc. SAS® 9.4 User's Guide Cary, NC. SAS Institute Inc. Cary, N.C., USA.
- Thomas, L. L., Woodworth, J. C., Tokach, M. D., Dritz, S. S., DeRouchey, J. M., Goodband, R. D., Williams, H. E., Hartman, A. R., Mellick, D. J., McKilligan, D. M., & Jones, A. M. (2020). Evaluation of different blends of medium-chain fatty acids, lactic acid, and monolaurin on nursery pig growth performance. *Translational Animal Science*, 4(2), 1–10. <https://doi.org/10.1093/tas/txaa024>

- Tsiloyiannis, V. K., Kyriakis, S. C., Vlemmas, J., & Sarris, K. (2001). The effect of organic acids on the control of porcine post-weaning diarrhoea. *Research in Veterinary Science*, 70(3), 287–293. <https://doi.org/10.1053/rvsc.2001.0476>
- Yen, H., Lai, W., Lin, C., & Chiang, S. (2015). Medium-chain triglyceride as an alternative of in-feed colistin sulfate to improve growth performance and intestinal microbial environment in newly weaned pigs. *Animal Science Journal*, 86(March 2014), 99–104. <https://doi.org/10.1111/asj.12248>
- Zentek, J., Ferrara, F., Pieper, R., Tedin, L., Meyer, W., & Vahjen, W. (2013). Effects of dietary combinations of organic acids and medium chain fatty acids on the gastrointestinal microbial ecology and bacterial metabolites in the digestive tract of weaning piglets. *Journal of Animal Science*, 91(7), 3200–3210. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5673>