



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

USO DE DOS FUENTES DE COLINA EN DIETAS PARA CERDOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD

FRIDZ REYNOLD RAMÍREZ BONILLA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

**USO DE DOS FUENTES DE COLINA EN
DIETAS PARA CERDOS Y SU
INFLUENCIA SOBRE LA
PRODUCTIVIDAD**

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Fridz Reynold Ramírez Bonilla, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Jose Luis Figueroa Velasco, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis

Uso de dos fuentes de colina en dietas para cerdos y su influencia sobre la productividad

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 16 de Julio de 2018

Firma del
Alumno (a)

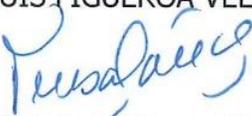
Dr. José Luis Figueroa Velasco
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Uso de dos fuentes de colina en dietas para cerdos y su influencia sobre la productividad**, realizada por el alumno: **Fridz Reynold Ramírez Bonilla**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. JOSÉ LUIS FIGUEROA VELASCO

ASESORA: 
DRA. MARÍA TERESA SÁNCHEZ-TORRES ESQUEDA

ASESOR: 
DR. JOSÉ ALFREDO MARTÍNEZ AISPURO

ASESOR: 
DR. JOSÉ MA. FERNANDO COPADO BUENO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2018

USO DE DOS FUENTES DE COLINA EN DIETAS PARA CERDOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD

Fridz Reynold Ramírez Bonilla, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

La función de la alimentación porcina es proveer de nutrientes y aditivos para el óptimo crecimiento del cerdo, una mayor acumulación de proteína y baja cantidad de grasa en la canal en el menor tiempo posible. Los estudios de las bondades del uso de dietas suplementadas con colina, en la producción porcina, son escasos. Este estudio se realizó con 20 cerdos híbridos (Yorkshire×Duroc×Pietrain) de ambos sexos, en Crecimiento (cinco repeticiones por tratamiento; 25.24 ± 3.0 kg peso inicial) y 15 cerdos durante las dos etapas de finalización (cinco repeticiones por tratamiento; 52.94 ± 2.9 kg peso inicial), con alojamiento individual y alimentación *ad libitum*, a fin de evaluar el efecto de la suplementación de dos fuentes de colina (sintética, 0.33% y natural de origen herbal 0.33%) en dietas a base de sorgo-pasta de soya y aminoácidos sintéticos, sobre variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma. Cada fase duró cuatro semanas. En cerdos en Crecimiento, no se observó efecto ($P > 0.05$) de la adición o de la fuente de colina sobre las variables analizadas. En Finalización I tampoco se encontró efecto ($P > 0.05$) de la adición o de la fuente de colina sobre las variables productivas, las características de la canal ni en la concentración de urea en plasma. En Finalización II la adición o la fuente de colina no influyó ($P > 0.05$) en las variables productivas, de las características de la canal, ni en la concentración de urea en plasma, pero sí afectó la grasa dorsal, que disminuyó ($P \leq 0.05$) al adicionar colina sintética respecto al testigo. La colina no mejoró el crecimiento ni afectó las características de la canal o la concentración de urea en plasma de los cerdos en engorda, pero redujo la cantidad de grasa en la canal, lo cual representa canales más magras y por ende un producto de mejor calidad para el consumo humano.

Palabras clave: colina, respuesta productiva, características de la canal, urea en plasma.

USE OF TWO SOURCES OF CHOLINE IN PIG DIETS AND ITS INFLUENCE ON PRODUCTIVITY

Fridz Reynold Ramírez Bonilla, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The function of feeding pigs is to supply the nutrients and additives for an optimum growth of pig, a higher protein accretion and a lower amount of fat in the carcass, in the shortest possible time. The research about the benefits of using choline supplemented diets for pigs is scarce. This research was conducted with 20 hybrid (Yorkshire×Duroc×Pietrain) pigs, barrows and gilts, during Growing (five replicates per treatment; 25.24 ± 3.0 kg initial body weight) and 15 hybrid pigs (barrows and gilts) during both finishing stages of fattening (five replicates per treatment; 52.94 ± 2.9 kg initial body weight), individually penned and fed *ad libitum*, to evaluate the effect of adding two sources of choline (synthetic, 0.33% and natural from herbal origin, 0.33%) in sorghum-soybean meal, amino acid-supplemented diets, on growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration. Each stage lasted four weeks. In Growing pigs, there was no effect ($P > 0.05$) of the addition or the source of choline on analyzed variables. In Finishing I, there was no effect either ($P > 0.05$) of choline addition or source on growth performance, carcass characteristics or plasma urea nitrogen concentration. In Finishing II pigs, the addition or source of choline did not influence ($P > 0.05$) growth performance, carcass characteristics or plasma urea nitrogen concentration; except backfat thickness, that was reduced ($P \leq 0.05$) by synthetic choline in the diet compared to control pigs. The choline addition did not improve growth performance nor it affected carcass characteristics or diminished plasma urea nitrogen concentration in growing and finishing I and II pigs, but it reduced backfat thickness, which means leaner carcass and with that, a higher quality pork for human consumption.

Keywords: Choline, growth performance, carcass characteristics, plasma urea nitrogen concentration.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, en especial al Programa de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería por la oportunidad que me brindó para finalizar una nueva etapa en mi vida y carrera profesional.

A CONACYT por su apoyo económico durante la maestría.

De manera especial agradezco al Ph. D. José Luis Figueroa Velasco por la oportunidad de guiarme y dirigirme durante la maestría, por sus invaluable enseñanzas, consejos y apoyo para realizar esta tesis; gracias maestro, mentor y gran amigo.

A la Dra. María Teresa Sánchez-Torres Esqueda, Dr. José Alfredo Martínez Aispuro, Dr José Ma. Fernando Copado Bueno y al M. V. Z. José Luis Cordero Mora, por el apoyo incondicional y sus valiosas aportaciones durante la realización de este trabajo y su apoyo en campo. Gracias a ustedes porque además de su intervención en el ámbito profesional contribuyeron con mi formación y superación personal con sus consejos, confianza, motivación y acompañamiento siempre que fue necesario.

A la Dra. Magdalena Crosby Galván y a la Ing. Margarita Crosby Galván del Laboratorio de Nutrición Animal del Colegio de Postgraduados por su apoyo en brindar las facilidades para el análisis de muestras biológicas. A demás de su amistad y confianza.

Al personal administrativo de Ganadería por su desinteresado apoyo hacia mi persona durante mi estancia en esta institución.

Y a todos mis amigos y compañeros del Colegio de Postgraduados que colaboraron con su ayuda en la elaboración de esta investigación, en especial a Israel Martínez Cruz gracias por tu apoyo.

DEDICATORIA

A tí Dios por darme la vida, por iluminar y guiar mi sendero, porque sin tu ayuda nada de lo que he vivido hubiera sido posible y siempre necesitaré de tu divina gracia en cada proyecto que emprenda en mi vida por lo que nunca me apartaré de tí.

Muy en especial dedico este trabajo a lo más sagrado que Dios me ha dado, a la vida de mi vida, mis hijas **Frida Ramírez Reyes** y **Victoria Ramírez Reyes**, por ustedes mi vida tiene sentido y orientación y cada obstáculo se vuelve pequeño para superar.

A mi compañera de vida, esposa y amiga **Candelaria Reyes Moreno** gracias por tú incansable y desinteresada ayuda, no me alcanzaré la vida para agradecer todo el apoyo incondicional que me brindas. Gracias mi amor.

A mis padres

Ana Gpe. Bonilla Palomeque; mamá gracias por guiar mi vida con sabios consejos que llevo grabados en mi mente y corazón. Gracias por inculcarme valores y principios que me son útiles en la vida y que me servirán para formar a mis hijas como personas de bien. Te amo mamá.

José Donato Carreón López; papá y gran amigo, que llegaste a nuestras vidas en el momento justo, gracias por formar en mí la imagen de un hombre trabajador y honesto porque eso me servirá en mi vida personal y profesional.

A ambos les digo GRACIAS, hoy les entrego mi esfuerzo y este triunfo no es solo mío sino también de ustedes porque me han impulsado a darlo todo cada día.

A mis suegros Manuel Reyes de la Torre y Gladilú Moreno Tejeda, a los dos gracias por su incansable apoyo, ustedes también han sido parte importante en mi formación.

A mis cuñados Jesús Reyes Moreno, Manuel Reyes Moreno y Juan Diego Reyes Moreno, gracias por la motivación de seguir preparándome y por el cariño que me han demostrado todo este tiempo.

CONTENIDO

RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
VITAMINAS.....	3
Definición	3
Funciones.....	3
Deficiencias	4
Efectos de agregar cantidades adicionales de vitaminas.....	4
COLINA.....	5
Estructura química.....	5
Funciones.....	7
Oxidación de colina	7
Síntesis endógena	8
Estructura de la membrana y señalización celular	8
Transporte lipídico.....	9
Neurotransmisión.....	9
Metabolismo monocarbonado	10
Deficiencia.....	10
Fuentes.....	11
Efectos de agregar cantidades adicionales de colina	12
HIPÓTESIS	13
OBJETIVO GENERAL	13
LITERATURA CITADA	14
CAPÍTULO I. USO DE DOS FUENTES DE COLINA EN DIETAS PARA CERDOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD	22
RESUMEN.....	23
ABSTRACT	24
1.1. INTRODUCCIÓN	25
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS	27
1.2.1. Descripción del lugar de estudio.....	27
1.2.2. Animales, dietas e instalaciones	27
1.2.3. Toma de muestras y datos.....	31
1.2.4. Análisis estadístico	32
1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
1.3.1. Comportamiento productivo	33
1.3.2. Características de la canal.....	34

1.3.3. Urea	35
1.4. CONCLUSIONES	43
1.5. LITERATURA CITADA EN ARTÍCULO	44

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de la dieta para cerdos en etapa de Crecimiento (25-50 kg).....	28
Cuadro 2. Composición de la dieta para cerdos en etapa de Finalización I (50-75 kg)	29
Cuadro 3. Composición de la dieta para cerdos en etapa de Finalización II (75-100 kg).....	30
Cuadro 4. Comportamiento productivo de cerdos en etapa de Crecimiento suplementados con dos fuentes de colina.....	37
Cuadro 5. Características de la canal de cerdos en etapa de crecimiento suplementados con dos fuentes de colina.....	38
Cuadro 6. Comportamiento productivo de cerdos en etapa de Finalización I suplementados con dos fuentes de colina	39
Cuadro 7. Características de la canal de cerdos en etapa de Finalización I suplementados con dos fuentes de colina.....	40
Cuadro 8. Comportamiento productivo de cerdos en etapa de Finalización II suplementados con dos fuentes de colina	41
Cuadro 9. Características de la canal de cerdos en etapa de Finalización II suplementados con dos fuentes de colina.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de colina. Fuente: (Garrow, 2007).	6
Figura 2. Derivados de colina. a) Fosfocolina; b) Glicerofosfocolina; c) Fosfatidilcolina; d) Esfingomiolina; e) Acetilcolina. Fuente: (Garrow, 2007).	6

INTRODUCCIÓN

La eficiencia productiva en la industria porcina se refiere al aprovechamiento óptimo de los recursos para producir el mayor número de lechones y kilogramos de carne, de la mejor calidad y en el menor tiempo posible, desde la maternidad hasta la finalización del cerdo. En la nutrición porcina, una de las estrategias para aumentar la eficiencia de los nutrientes es la alimentación por fases (Almeida *et al.*, 2012). El conocimiento de las bases bioquímicas de la absorción y las funciones metabólicas de los aminoácidos (AA) en el crecimiento, desarrollo, lactancia, reproducción, entre otros, también es una herramienta para mejorar la utilización de la proteína, al minimizar los desechos de nitrógeno por la orina y heces (Rezaei *et al.*, 2013). Así, el uso de dietas con baja proteína, adicionadas con AA sintéticos (Gómez *et al.*, 2002; Figueroa *et al.*, 2012) y la inclusión de una gama de aditivos alimenticios (Jacela *et al.*, 2009) permiten incidir positivamente en la producción porcina, sin dejar de lado la importancia de mejorar el confort ambiental para los animales durante la producción y previo al sacrificio, el cual afecta directamente el comportamiento productivo y la calidad del producto final.

Las vitaminas se encuentran entre los aditivos utilizados para mejorar la producción de carne de cerdo, entre ellas, la colina. Se han utilizado dosis adicionales a los requerimientos necesarios para una producción óptima de rumiantes, aves y cerdos, con el objetivo de promover algún beneficio adicional, de las siguientes vitaminas: E (mejora en la calidad de la carne; Cardinali *et al.*, 2015), β -carotenos (aumento de la fertilidad en bovinos; Ondarza *et al.*, 2009), niacina (control de cetosis en bovinos; Havlin *et al.*, 2016), biotina (mejora de la salud en pezuñas de bovinos, ayuda a regenerar las células pancreáticas para la secreción de insulina; Tixi-Verdugo *et al.*, 2018), C (refuerza el sistema inmune, tiene efecto antioxidante y actúa como antiinflamatorio; Spoelstra-de Man *et al.*, 2018) y L-carnitina (tiene efecto antioxidante, mejora de la reproducción y la

producción de leche en cerdas; Ramanau *et al.*, 2004), entre otras. Los resultados han sido variables pero la mayoría de las veces se mejoran las variables analizadas. Sin embargo, existen pocos datos de investigación para respaldar los niveles de inclusión de colina que han sido recomendados para su uso en dietas para cerdos. Se ha reportado que una deficiencia de colina en cerdos jóvenes da como resultado conformación corporal anormal, falta de coordinación en movimiento, rigidez en articulaciones, hígado graso y oclusión glomerular renal, entre otros (Wintrobe *et al.*, 1942; Ellis *et al.*, 1943; Neumann *et al.*, 1949). En 1998, *The Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine* (U.S. National Academy of Science) publicó valores de referencia de ingesta dietética de las vitaminas del grupo B y de colina. Los datos experimentales no fueron suficientes para establecer los Requerimientos Medios Estimados (*Estimated Average Requirements: EAR*) para colina.

Por lo anterior, es importante determinar si cantidades adicionales de colina en el alimento de cerdos en crecimiento (20 a 50 kg de peso) y finalización (50 a 100 kg de peso vivo) mejoran la respuesta productiva, las características de la canal y la concentración de urea en plasma.

REVISIÓN DE LITERATURA

VITAMINAS

Definición

La palabra “vitamina” proviene del latín *vita* que quiere decir “vida” y el sufijo *amina*. Este término fue acuñado por el bioquímico Casimir Funk en 1912. Las vitaminas son nutrientes esenciales orgánicos e inorgánicos que se encuentran en pequeñas cantidades en el organismo, siendo necesarios para la salud y el funcionamiento normal del animal; sin embargo, no aportan energía.

Funciones

Las vitaminas son nutrientes orgánicos, diferente de los carbohidratos, AA y lípidos. Algunos de estos compuestos no son esenciales, en este caso porque pueden sintetizarse a partir de otros nutrientes o componentes metabólicos en el propio animal, o son sintetizados por microorganismos del tracto intestinal y absorbidos por el hospedero. Generalmente, las vitaminas se clasifican como liposolubles (solubles en solventes orgánicos) o hidrosolubles (solubles en agua). Las vitaminas liposolubles incluyen la A, D, E y K. Las vitaminas hidrosolubles incluyen las del complejo B (biotina, colina, folacina, niacina, ácido pantoténico, riboflavina, tiamina, B₆ y B₁₂) y vitamina C (ácido ascórbico; NRC, 1998). Las vitaminas son esenciales e imprescindibles para la vida ya que forman parte importante de la dieta, y que al ser ingeridas de forma equilibrada y en dosis adecuadas promueven el correcto funcionamiento fisiológico para el desarrollo, crecimiento y mantenimiento adecuado del animal. Actúan como sustancias reguladoras y naturalmente actúan como coenzimas en los diferentes procesos metabólicos del organismo (Alonso, 2008).

Deficiencias

Las vitaminas son sustancias orgánicas presentes en pequeñas cantidades en los alimentos y son de vital importancia para el metabolismo. Se agrupan, no sólo por compartir propiedades químicas o funciones fisiológicas semejantes, sino que, como lo indica su nombre, a que son factores vitales en el metabolismo normal del animal y porque se ha descubierto su relación con las enfermedades que causan su carencia. Dichas deficiencias pueden presentar manifestaciones clínicas como: retardo en el crecimiento, ceguera nocturna, xerosis conjuntival y úlceras corneales por deficiencia de vitamina A; raquitismo, deformidades óseas, arqueamiento de las extremidades y xifosis por deficiencia de vitamina D; debilidad, neuropatía periférica, pérdida de reflejos, pérdida de peso, disnea y falla cardíaca por falta de Tiamina (vitamina B₁); estomatitis angular y dermatitis seborreica por deficiencia de Ribo flavina (vitamina B₂); dermatitis fotosensible, diarrea, confusión mental, depresión y psicosis por deficiencia de Niacina (vitamina B₃); anorexia, disnea, cansancio, edema en las extremidades y queilitis por deficiencia de Cianocobalamina (vitamina B₁₂); papilas frágiles, encías hemorrágicas, petequias y otros signos de hemorragias en piel, y posición de ancas de rana por deficiencia de Ácido Ascórbico (vitamina C) (FAO, 2002). La deficiencia de colina (obtenida experimentalmente) se manifiesta principalmente en hígado graso y reducción del metabolismo de metabolitos hepáticos (Selhub *et al.*, 1991; Varela-Moreiras *et al.*, 1995; Waite *et al.*, 2002; Albright *et al.*, 2005).

Efectos de agregar cantidades adicionales de vitaminas

Los resultados encontrados en la literatura son contradictorios para el caso de agregar cantidades adicionales de vitaminas a lo que se recomienda para una óptima respuesta animal. En el NRC (1988) se describe que la adición de los niveles de vitaminas del grupo B (riboflavina, niacina, ácido pantoténico y vitamina B₁₂), por arriba de lo recomendado, es inadecuado para el máximo

rendimiento para cerdos recién destetados (Wilson *et al.*, 1991a, b; 1992a, b; 1993) o para cerdos con altos niveles de tejido magro (Stahly *et al.*, 1995). También menciona que la adición de vitaminas del grupo B, a razón de dos a diez veces lo recomendado, ha mejorado la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia de los cerdos. Sin embargo, no se sabe qué nivel (por encima de lo recomendado) puede ser necesario. Lindemann *et al.* (1995) observó una tendencia a mejorar la ganancia de peso y consumo de alimento en cerdos al destete alimentados con cinco veces los niveles de vitaminas comúnmente recomendados por el NRC (1988), incluyendo vitaminas liposolubles, pero la eficiencia alimenticia tiende a ser menor con niveles de inclusión más altos.

COLINA

La colina es un nutriente descubierto en 1862 por Adolph Strecker, quien lo clasificó como una base de amonio (Strecker, 1862). En 1868 se demostró que la colina formaba parte de la lecitina del huevo (Strecker, 1868) y años después se observó que era un componente de la esfingomielina (Levene, 1914; Levene, 1916).

La colina suele ser comúnmente conocida como una vitamina del grupo B, a pesar de que la cantidad requerida (mg) supera los niveles traza (μg) de una vitamina clásica. En general, se agrega a las dietas porcinas como cloruro de colina, que contiene 74.6% de pureza (Emmert *et al.*, 1996).

Estructura química

La molécula de colina es una amina cuaternaria rica en grupos metilo, con carga positiva ($\text{C}_5\text{H}_{14}\text{NO}^+$) con un peso molecular de 104.17 g/mol (Figura 1). La colina es una base orgánica muy higroscópica, puede ser acetilada, fosforilada, oxidada o hidrolizada. Es precursor de distintos compuestos como son: Fosfocolina, Fosfatidilcolina, Esfingomielina,

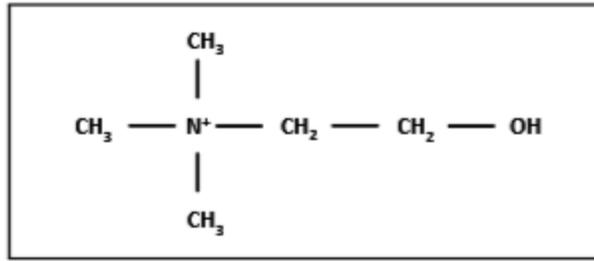


Figura 1. Estructura de colina. Fuente: (Garrow, 2007).

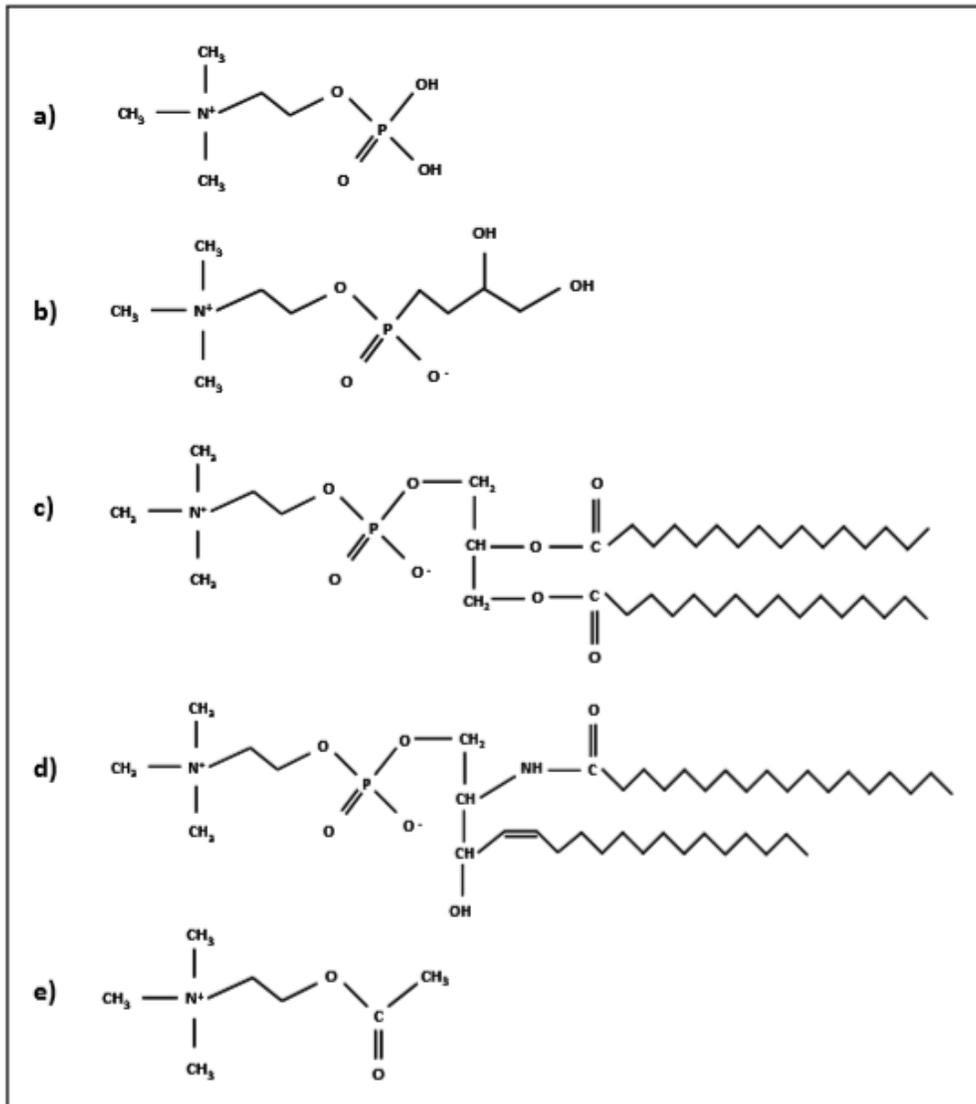


Figura 2. Derivados de colina. a) Fosfocolina; b) Glicerofosfocolina; c) Fosfatidilcolina; d) Esfingomieline; e) Acetilcolina. Fuente: (Garrow, 2007).

Glicerofosfocolina y Acetilcolina (Figura 2). El catabolismo de estos compuestos da como resultado metabolitos fundamentales para el correcto funcionamiento celular como son: Lisofosfatidilcolina, Lisoesfingomielina, Diacilglicerol, Ceramida o Esfingosina (Garrow, 2007).

Funciones

Se requiere colina para la síntesis de fosfolípidos (como lecitina), para la formación de acetilcolina y transmetilación de homocisteína a metionina, que se produce a través de la betaína, que es el producto de oxidación de la colina. Cuando se tiene deficiencia de colina en la dieta, la síntesis de fosfolípidos y acetilcolina tiene prioridad sobre las funciones de metilación de la colina; sin embargo, las dietas elaboradas con harina de semillas de oleaginosas contienen suficiente colina como para que la betaína o colina sean igualmente eficaces para cumplir la función de metilación de la colina (Lowry *et al.*, 1987).

Oxidación de colina

La oxidación de colina es un proceso energéticamente rentable y se lleva a cabo en el hígado. La oxidación empieza con el transporte de colina al interior de la mitocondria, donde un transportador en la membrana interna de esta permite su entrada (Nilson y Duan, 2006), y actúa como factor limitante de su absorción (Li y Vance, 2008). Una vez dentro de la mitocondria, la colina es oxidada a Betaína aldehído mediante la enzima colina deshidrogenasa (CHDH). La CHDH es una enzima de la familia de las GMS-oxidoreductasas localizada en la membrana interna de la mitocondria (Cavener, 1992). Rápidamente la enzima betaína aldehído deshidrogenasa (BADH) cataliza la fracción NAD dependiente de betaína aldehído a betaína (Chern y Pietruzko, 1999). A

continuación, tiene lugar la transformación de betaína a dimetilglicina (DMG), catalizada por la enzima betaína-homocisteína metiltransferasa (BHMT; Garrow, 1996). Esta transfiere un grupo metilo de la betaína a la homocisteína (Hcy) y como producto final resulta en DMG y Metionina (Klee *et al.*, 1961).

Síntesis endógena

La colina de la dieta o endógena, se utiliza principalmente para la síntesis de fosfatidilcolina, que representa alrededor del 95% de la colina total del organismo. El 5% restante se encuentra en forma de colina libre, fosfocolina, glicerofosfocolina, CDP-colina y acetilcolina (Li y Vance, 2008).

Colina cumple un papel muy complejo en el organismo. Es necesaria para la estructura de la membrana y la señalización celular (fosfolípidos), el transporte de lípidos (lipoproteínas), la síntesis de neurotransmisores y el desarrollo cerebral (acetilcolina) y el metabolismo monocarbonado (donador de grupos metilo y metilación del ADN). Además, se trata de una molécula esencial para la vida celular ya que su ausencia provoca apoptosis en células hepáticas y cerebrales (Holmes-McNarry *et al.*, 1997; Shin *et al.*, 1997).

Los cerdos sintetizan colina metilando fosfatidil etanolamina en un proceso de tres pasos que implica la transferencia de un grupo metilo a partir de S-adenosilmetionina. Por lo tanto, el exceso de metionina en la dieta puede eliminar la necesidad dietética de colina en los cerdos (Neumann *et al.*, 1949; Nesheim y Johnson, 1950; Kroening y Pond, 1967).

Estructura de la membrana y señalización celular

La fosfatidilcolina es el fosfolípido más abundante en la parte externa de la membrana celular eucariota junto con la esfingomielinina, aunque en menor cantidad. El aparato de Golgi y las

membranas lisosomales son particularmente ricas en esfingomielina. Las pequeñas moléculas bioactivas producidas por la fosfatidilcolina y la esfingomielina activan o finalizan diversas cascadas de señalización (Zeisel, 1993).

Transporte lipídico

Los triglicéridos producidos por el hígado se distribuyen a los tejidos periféricos utilizando las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL, por sus siglas en inglés). La fosfatidilcolina es un componente necesario para formar estas partículas. Por este motivo, una deficiencia de colina reduce la síntesis de fosfatidilcolina en las células hepáticas y la formación de VLDL. La consecuencia principal es una acumulación de triglicéridos en el hígado, que desemboca en hígado graso (Noga y Vance, 2003).

La fosfatidilcolina sintetizada en el hígado también se secreta en la bilis donde actúa como surfactante para facilitar la digestión lipídica. Parte de esta fosfatidilcolina es reabsorbida por el intestino delgado y retorna al hígado (Li *et al.*, 2005).

Neurotransmisión

La acetilcolina es un neurotransmisor presente en el sistema nervioso central y periférico, relacionado con la memoria. También tiene un papel crucial en los estadios tempranos de la gestación, momento en que se produce el cierre del tubo neural (Fisher *et al.*, 2002).

Un estado óptimo en colina también es particularmente importante durante la parte final del embarazo y el período neonatal, momento de desarrollo del hipocampo, órgano responsable de la memoria (Zeisel, 2006).

Metabolismo monocarbonado

El metabolismo monocarbonado hace referencia a las reacciones que utilizan el tetrahidrofolato (THF) como coenzima y a aquellas que transfieren un grupo metilo. La transferencia de unidades de un carbono por parte del folato tiene lugar en reacciones como la síntesis de purinas, la interconversión de serina y glicina y la remetilación de la homocisteína (Hcy). La serina y la glicina, junto con la colina, son fuentes de grupos metilo que complementan los producidos en el metabolismo del folato. La colina en concreto, una vez oxidada en la mitocondria de las células hepáticas y renales, se convierte en betaína y entra en el ciclo monocarbonado como donadora de grupos metilo en la remetilación de la Hcy a metionina (Zeisel y Blusztajn, 1994). Seguidamente, la enzima metionina adenosiltransferasa (MAT) convierte la metionina en S-adenosilmetionina (SAM; Cantoni, 1953), un donador de grupos metilo universal y agente de metilación para muchas reacciones enzimáticas, incluyendo la metilación de la fosfatidiletanolamina para formar fosfatidilcolina (Bremer y Greenberg, 1961).

Deficiencia

Bligh (1953) llevó a cabo estudios con diferentes especies animales para comprender mejor el rol fisiológico de la colina. Los mamíferos que fueron analizados desarrollaron deficiencias renales y hepáticas. Bligh analizó las diferencias metabólicas que presentaron un grupo de ratas sometidas a una dieta deficiente en colina durante cuatro meses comparadas con el grupo testigo. También observó una acumulación de grasa en el hígado además de una reducción en la concentración de colina en plasma. Los resultados de Bligh concuerdan con los estudios realizados por Yao y Vance (1990), quienes administraron una dieta deficiente en colina por tres días a ratas machos y observaron una reducción de la producción hepática de lipoproteínas de muy baja densidad

(VLDL), además de las deficiencias en hígado. Varela-Moreiras *et al.* (1995), observaron que además de los síntomas hepáticos, la deficiencia de colina en ratas es capaz de reducir las reservas de folato hepático entre 25 y 50% con respecto al grupo testigo.

Estudios previos demostraron que la deficiencia de colina puede causar cambios patológicos en muchos órganos, como la necrosis y la cirrosis hepática, el riesgo de cáncer, la necrosis cortical y la insuficiencia renal, así como la degradación de la memoria (Mehta *et al.*, 2010; Pacelli *et al.*, 2010). Sin embargo, hay poca información disponible sobre el metabolismo de la colina intramuscular en la producción de cerdo.

Fuentes

Se ha estimado que la colina que contiene la pasta de soya tiene entre 65 y 83% de biodisponibilidad en relación con el cloruro de colina (Molitoris y Baker, 1976; Emmert y Baker, 1997). Los estudios de biodisponibilidad con pollos han indicado que la harina de soya descascarillada contiene 2,218 mg de colina/kg y 1,855 mg de colina/kg biodisponible; la biodisponibilidad de la colina en la pasta de cacahuete (71%) fue levemente menor que en la harina de soya (83%) y la colina de la pasta de canola sólo estaba biodisponible en 24% (Emmert y Baker, 1997). Una parte de la colina presente en los ingredientes del alimento y las fuentes de grasa no procesadas existe como colina unida a fosfolípidos (Emmert *et al.*, 1996), pero los aceites refinados se han sometido a tantos procesos industrializados que la colina unida a fosfolípidos es eliminada (Anderson *et al.*, 1979).

Efectos de agregar cantidades adicionales de colina

Hoy en día, los cerdos se han utilizado como modelo fisiológico para realizar investigación con aplicación en humanos, ya que comparten similitudes, no sólo fisiológicas, sino también nutricionales y metabólicas, ya que los cerdos ofrecen varias ventajas en cría y manejo, lo que los convierte en una especie apta para la experimentación (Miller y Ullrey, 1987; Meurens *et al.*, 2012).

Se ha observado que la colina en cantidades adicionales a los requerimientos tiene un efecto positivo en la producción animal (Pesti *et al.*, 1980; Zeisel, 1981), por las funciones vitales que desempeña en la neurotransmisión, la integridad de la membrana y las vías de metilación (Niculescu y Zeisel, 2002; Niculescu *et al.*, 2006). En estudios realizados en pollos de engorda se compararon dos fuentes de colina, una sintética (cloruro de colina) y una vegetal (colina herbal), donde no hubo diferencias entre las dos fuentes de colina sobre los parámetros de rendimiento de pollos de engorda (Calderano *et al.*, 2015). Pompeu *et al.* (2011), demostraron que la suplementación de colina presentó un efecto lineal significativo para la conversión alimenticia, pero las demás características que evaluaron (GDP, CAL, PVf) no fueron influenciadas por la adición de colina en la dieta; comprobaron que la suplementación de 400 mg colina kg⁻¹ mejora la conversión alimenticia de pollos de engorda a los 21 días de edad. Ceron *et al.* (2015), realizaron un estudio comparativo sobre el desempeño de cerdos con un peso promedio de 15.64 kg (34 a 54 días de edad), utilizando dos fuentes de colina, una sintética (cloruro de colina) y una vegetal (colina herbal), en el cual no hubo diferencia significativa en el consumo diario de alimento y conversión alimenticia, sin embargo, para ganancia de peso sí encontraron efecto ($P < 0.05$) positivo de la suplementación (con 238 mg kg⁻¹) de la fuente herbal.

HIPÓTESIS

La adición de colina en la dieta de cerdos podría ayudar a tener una mejor respuesta productiva y mejor formación de músculo a través de mayor síntesis de proteína; asimismo, generaría canales con menor contenido de grasa, produciendo carne de mejor calidad para el consumo humano. Además, se esperaría que se reduzca la concentración de urea en plasma al propiciar un mejor aprovechamiento de los nutrientes de la dieta.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este estudio es evaluar la adición y la fuente de cantidades adicionales al requerimiento de colina en dietas para cerdos de engorda a fin de determinar sobre las variables productivas de los cerdos en la etapa de engorda, las características de la canal y la concentración de nitrógeno ureico en plasma de cerdos en engorda.

LITERATURA CITADA

Albright C. D., da Costa, k. a., Craciunescu, C. N., Klem, E., Mar, M. H., and Zeisel, S. H. 2005. Regulation of choline deficiency apoptosis by epidermal growth factor in CWSV-1 rat heparocytes. *Cell. Physiol. Biochem.* 15(1-4):59-68.

Almeida, V. V., A. J. C. Núñez and V. S. Miyada. 2012. Ractopamine as a modifier feed additive for finishing pigs: a review. *Braz. Biol. Technol.* 55 (3): 445-456.

Alonso A. Micronutrientes, minerales y agua. En: Calvo S. C., Gómez C., Planas M., Editor. *Manual de nutrición artificial domiciliaria*. Madrid: UNED; 2008.p.43-61.

Anderson, P. A., D. H. Baker, P. A. Sherry, and J. E. Corbin. 1979. Choline-methionine interrelationship in feline nutrition. *J. Anim. Sci.* 49:522–527.

Bligh J. 1953. The effect of choline-deficient diet upon the level of free choline in plasma of the rat. *J. Physiol.* 120:440-4.

Bremer J, D. Greenberg. 1961. Methyl transferring enzyme system of microsomes in the biosynthesis of lecithin (phosphatidylcholine). *Biochim Biophys Acta.* 46:205- 16.

Calderano, A. A., R. V. Nunes, R. J. B. Rodrigues, e R. A. César. 2015. Substituição do cloreto de colina por uma fonte de colina vegetal em dietas para frangos de corte. *Ciência Animal Brasileira*, 16(1), 37-44.

Cantoni GL. 1953. S- adenosylmethionine; a new intermediate formed enzymatically from L- methionine and adenosinetriphosphate. *J. Biol. Chem.* 204:403- 16.

Cardinali, R., M. Cullere, A. Dal Bosco, C. Mugnani, S. Ruggeri, S. Mattioli, C. Castellini, *et al.*, 2015. Oregano, rosemary and vitamin E dietary supplementation in growing rabbits: effect on growth performance, carcass traits, bone development and meat chemical composition. *Livest. Sci.* 175:83-89.

Cavener DR. 1992. GMC oxidoreductases. A newly defined family of homologous proteins with diverse catalytic activities. *J. Mol. Biol.* 223:811-4.

Ceron M. S., A. de M. Kessler, A. M. L. Ribeiro. 2015. Relatório de experimento: Estudo comparativo sobre o desempenho zootécnico e parâmetros sanguíneos de suínos em face de crèche recebendo duas fontes de colina na dieta. Laboratório de Ensino Zootécnico (LEZO). Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil p 6-8.

Chern MK, R. Pietruzko. 1999. Evidence for mitochondrial localization of betaine aldehyde dehydrogenase in rat liver: Purification, characterization, and comparison with human cytoplasmic E3 isozyme. *Biochem. Cell. Biol.* 77:179-87.

Ellis, N. R., L. L. Madsen and C. O. Miller. 1943. Pantothenic acid and pyridoxine as factors in the occurrence of locomotor incoordination in swine. *J. Anim. Sci.* 2:365. Abstr.

Emmert, J. L., T. A. Garrow, and D. H. Baker. 1996. Development of an experimental diet for determining bioavailable choline concentration and its application in studies with soybean lecithin. *J. Anim. Sci.* 74:2738–2744.

Emmert, J. L., and D. H. Baker. 1997. A chick bioassay approach for determining the bioavailable choline concentration in normal and overheated soybean meal, canola meal, and peanut meal. *J. Nutr.* 127:745–752.

FAO. 2002. Nutricion humana en el mundo en desarrollo. Colección FAO: Alimentacion y nutrición N° 29. Roma.

Figueroa, J. L., J. Estrada, V. Zamora, J. L. Cordero, M. T. Sánchez-Torres, R. Nieto and J. M. F. Copado. 2012. Digestible lysine levels in low-protein diets supplemented with synthetic amino acids for nursery, growing and finishing barrows. *Ir. J. Agr. Food. Res.* 51: 33-44.

Fisher M. C., S. H. Zeisel, M. H. Mar, T. W. Sadler. 2002. Perturbations in choline metabolism cause neural tube defects in mouse embryos in vitro. *FASEB J.* 16:619- 21.

Garrow T. A. 1996. Purification, kinetic properties, and cDNA cloning of mammalian betaine-homocysteine methyltransferase. *J. Biol. Chem.* 271:22831-8.

Garrow T. A. 2007. Choline. In: *Handbook of Vitamins*, 4th edition, McCormick DB, Rucker RR, Suttie JW, Zempleni J, eds. CRC Press, Boca Raton, FL, p. 459-488.

Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller and H. Y. Chen. 2002. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.

Havlin, J. M., P. H. Robinson, and J. E. Garrett. 2016. Niacin feeding to fresh dairy cows: immediate effects on health and milk production. *Anim. Prod. Sci.* 57(6): 1069-1078.

Holmes- McNarry M. Q., R. Loy, M. H. Mar, C. D. Albright, S. H. Zeisel. 1997 Apoptosis is induced by choline deficiency in fetal brain and in PC12 cells. *Dev. Brain Res.* 101:9- 16.

Jacela, J. Y., J. M. DeRouchey, M. D. Tokach, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, D. G. Renter and S. S. Dritz. 2009. Feed additives for swine: fact sheets-carcas modifiers, carbohydrate-degrading enzymes and proteases, and anthelmintics. *J. Swine Health Prod.* 17(6): 325-332.

Klee W. A., H. H. Richards, G. L. Cantoni. 1961. The synthesis of methionine by enzymic transmethylation. VII. Existence of two separate homocysteine methylpherases on mammalian liver. *Biochim Biophys Acta.* 54:157- 64.

Kroening, G. H., and W. G. Pond. 1967. Methionine, choline and threonine interrelationships for growth and lipotropic action in the baby pig and rat. *J. Anim. Sci.* 26:352–357.

- Levene P. A. 1914. On sphingomyelin II. *J. Biol Chem.* 18:453- 63.
- Levene P. A. 1916. Spingomyelin III. *J. Biol Chem.* 24:68- 9.
- Li Z., L. B. Agellon, D. E. Vance. 2005. Phosphatidylcholine homeostasis and liver failure. *J. Biol Chem.* 280:37798- 802.
- Li Z., D. E. Vance. 2008. Phosphatidylcholine and choline homeostasis. *J. Lipid Res.* 49:1187-94.
- Lindemann M. P., G. L. Cromwell, and H. J. Monegue. 1995. Effects of inadequate and high levels of vitamin fortification on performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 73(Suppl. 1):16 (Abstr.).
- Lowry, K. R., O. A. Izquierdo, and D. H. Baker. 1987. Efficacy of betaine relative to choline as a dietary methyl donor. *Poult. Sci.* 66(Suppl. 1):120 (Abstr.).
- Mehta A. K., B. P. Singh, N. Arora, S. N. Gaur. 2010. Choline attenuates immune inflammation and suppresses oxidative stress in patients with asthma. *Immunobiology.* 215(7):527-34. Epub 2009/11/10. doi: 10.1016/j.imbio.2009.09.004 PMID: 19897276.
- Meurens F., A. Summerfield, H. Nauwynck, L. Saif, V. Gerds. 2012. The pig: a model for human infectious diseases. *Trends Microbiol.* 20(1):50–7. Epub 2011/12/14. doi: 10.1016/j.tim.2011.11.002 PMID: 22153753.
- Miller E. R., D. E. Ullrey. 1987. The pig as a model for human nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 7:361–82. Epub 1987/01/01. doi: 10.1146/annurev.nu.07.070187.002045 PMID: 3300739.
- Molitoris, B. A., and D. H. Baker. 1976. Assessment of the quantity of biologically available choline in soybean meal. *J. Anim. Sci.* 42:481–489.
- Nesheim, R. O., and B. C. Johnson. 1950. Effect of a high level of methionine on the dietary choline requirement of the baby pig. *J. Nutr.* 41:149–152.

Neumann, A. L., J. L. Krider, M. R. James, and B. C. Johnson. 1949. The choline requirement of the baby pig. *J. Nutr.* 38:195–214.

Niculescu M. D., S. H. Zeisel. 2002. Diet, methyl donors and DNA methylation: interactions between dietary folate, methionine and choline. *J. Nutr.* 132(8 Suppl):2333s–5s. Epub 2002/08/07. PubMed PMID: 12163687.

Niculescu M. D., C. N. Craciunescu, H. S. Zeisel. 2006. Dietary choline deficiency alters global and gene-specific DNA methylation in the developing hippocampus of mouse fetal brains. *FASEB journal: official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology.* 20(1):43–9. Epub 2006/01/06. doi: 10.1096/fj.05-4707com PMID: 16394266; PubMed Central PMCID: PMC1635129.

Nilson A., R. D. Duan. 2006. Absorption and lipoprotein transport of sphingomyelin. *J. Lipid. Res.* 47:154-71.

Noga AA, D. E. Vance. 2003. A gender- specific role for phosphatidylethanolamine N-methyltransferase derived phosphatidylcholine in the regulation of plasma high density and very low density lipoproteins in mice. *J. Biol. Chem.* 278:21851- 9.

NRC (National Research Council). 1988. *Nutrient Requirements of Swine* 9th ed. National Academy Press, Washington, DC. pp: 70-75.

NRC (National Research Council). 1998. *Nutrient Requirements of Swine: 10th ed.* National Academy Press, Washington, D.C. pp: 71.

Ondarza M. B., J. W. Wilson, and M. Engstrom. 2009. Case study: Effect of supplemental β -carotene on yield of milk and milk components and on reproduction of dairy cows. *P. Anim. Sci.* 25(4): 510-516.

Pacelli C., A. Coluccia, I. Grattagliano, T. Cocco, G. Petrosillo, G. Paradies, E. De Nitto, A. Massaro, M. Persichella, P. B. P. Portincasa, and M. R. Carratù. 2010 Dietary choline deprivation impairs rat brain mitochondrial function and behavioral phenotype. *J. Nutr.* 140(6):1072–9. Epub 2010/04/02. doi: 10.3945/jn.109.116673 PMID: 20357080.

Pesti G. M., A. E. Harper, M. L. Sunde. 1980. Choline/methionine nutrition of starting broiler chicks. Three models for estimating the choline requirement with economic considerations. *Poultry Sci.* 59 (5):1073–81. Epub. PubMed PMID: 7393840.

Pompeu, M. A., L. J. C. Lara, N. C. Baião, R. Ecco, S. V. Cançado, J. S. R. Rocha, L. C. Machado, *et al.*, 2011. Suplementação de colina em dietas para frangos de corte machos na fase inicial de criação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.* 63(6): 1446-1452.

Ramanau, A., H. Kluge, J. Spilke, and K. Eder. 2004. Supplementation of sows with L-Carnitine during pregnancy and lactation improves growth of piglets during the suckling period through increased milk production. *J. Nutr.* 134(1): 86-92.

Rezaei, R., W. Wang, Z. Wu, Z. Dai, J. Wang and G. Wu. 2013. Biochemical and physiological bases for utilization of dietary amino acids by young pigs. *J. Anim. Sci. Biotech.* 4:7.

Selhub J., E. Seyoum, E. A. Pomfret, and H. S. Zeisel. 1991. Effects of choline deficiency and methotrexate treatment upon liver folate content and distribution. *Cancer Res.* 51(1):16-21.

Shin O. H., M. H. Mar, C. D. Albright, M. T. Citarella, K. A. da Kosta, S. H. Ziesel. 1997. Methyl-group donors cannot prevent apoptotic death of rat hepatocytes induced by choline-deficiency. *J. Cell. Biochem.* 64:196- 208.

Spoelstra-de Man, A. M. E., P. W. G. Elbers, H.M. Oudemans-Van Straaten. 2018. Vitamin C: Should we supplement? *Current Opinion in Critical Care* 24:248-255.

Stahly, T. S., N. H. Williams, S. G. Swenson, and R. C. Ewan. 1995. Dietary B vitamin needs of high and moderate lean growth pigs fed from 9 to 28 kg body weight. *J. Anim. Sci.* 73(Suppl. 1):193 (Abstr.).

Standing Comite on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B₆, Folate, Vitamin B₁₂, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline. National Academy Press: Washington, D. C. 592 p.

Strecker A. 1862. Ueber einige neue bestandtheile der schweinegalle. *Annal der Chemiu Pharm.* 123:353-60.

Strecker A. 1968. Ueber das lecitin. *Annal der Chemie u Pharm.* 148:77-90

Tixi-Verdugo, W., J. Contreras-Ramos, G. Sicilia-Argumedo, G. Michael, and C. Fernandez-Mejía. 2018. Effects of Biotin supplementation during the first week postweaning increases pancreatic islet area, beta-cell proportion, islets number, and beta-cell proliferation. *J. Med. Food.* 21(3): doi: <http://doi.org/10.1089/jmf.2017.0077>

Varela-Moreiras G, C. Ragel, J. Perez de Miguelsanz. 1995. Choline deficiency and methotrexate treatment induces market but reversible changes in hepatic folate concentrations, serum homocysteine and DNA methylation rates in rats, *J. Am. Coll. Nutr.* 14:480-5.

Waite, K. A., N. R. Cabilio, and D. E. Vance. 2002. Choline deficiency-induced liver damage is reversible in *Pemt*(-/-)mice. *J. Nutr.* 132(1):62-71

Wilson, M. E., J. E. Pettigrew, L. J. Johnston, J. D. Hawton, J. W. Rust, and H. Chester-Jones. 1991a. Provision of additional B-vitamins improves growth rate of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 69 (Suppl.1):106 (Abstr.).

Wilson, M. E., J. E. Pettigrew, R. D. Walker, H. Chester-Jones, and B. Oeltjenbruns. 1991b. Provision of additional vitamin B12 improved growth rate of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 69 (Suppl. 1): 359 (Abstr.).

Wilson, M. E., J. E. Pettigrew, L. J. Johnston, and H. Chester-Jones. 1992a. Effect of B-vitamin supply upon growth of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 70 (Suppl. 1):61 (Abstr.).

Wilson, M. E., J. E. Pettigrew, G. C. Shurson, L. J. Johnston, H. Chester-Jones, and J. D. Jones. 1992b. *J. Anim. Sci.* 70 (Suppl. 1):233 (Abstr.).

Wilson, M. E., M. D. Tokach, R. W. Walker, J. L. Nelssen, R. D. Goodhand, and J. E. Pettigrew. 1993. Influence of high levels of individual B vitamins on starter pig performance. *J. Anim. Sci.* 71 (Suppl. 1):56 (Abstr.).

Wintrobe, M. M., M. H. Miller, R. H. Follis, H. J. Stein, C. Mushatt and S. Humphreys. 1942. Sensory neuron degeneration in pigs. *J. Nutr.* 24:345.

Yao Z. M., D. E. Vance. 1990. Reduction in VLDL, but not HDL, in plasma of rats deficient in choline. *Biochem. Cell. Biol.* 68:522-8.

Zeisel S. H. 1981. Dietary choline: biochemistry, physiology, and pharmacology. *Annu. Rev. Nutr.* 1:95–121. Epub 1981/01/01. doi: 10.1146/annurev.nu.01.070181.000523 PMID: 6764726.

Zeisel S. H. 1993. Choline phospholipids: Signal transduction and carcinogenesis. *FASEB J.* 7:551- 7.

Zeisel S. H., J. K. Blusztajn. 1994. Choline and human nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 14:269-96.

Zeisel S. H. 2006 The fetal origins of memory: The role of dietary choline in optimal brain development. *J. Pediatr.* 149:S131- 6.

**CAPÍTULO I. USO DE DOS FUENTES DE COLINA
EN DIETAS PARA CERDOS Y SU INFLUENCIA
SOBRE LA PRODUCTIVIDAD**

USO DE DOS FUENTES DE COLINA EN DIETAS PARA CERDOS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA PRODUCTIVIDAD

Fridz Reynold Ramírez Bonilla, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

El estudio se realizó con 20 cerdos híbridos (Yorkshire×Duroc×Pietrain) de ambos sexos, durante la etapa de Crecimiento (25.24 ± 3.0 kg peso inicial; cinco repeticiones por tratamiento) y 15 cerdos híbridos de ambos sexos para Finalización I (50 a 75 kg; 52.94 ± 2.6 kg peso inicial; cinco repeticiones por tratamiento) y Finalización II (75 a 100 kg; 75.90 ± 2.1 kg peso inicial; cinco repeticiones por tratamiento), con alojamiento individual y alimentación *ad libitum*, a fin de evaluar el efecto de la suplementación de dos fuentes de colina (sintética, 0.33% y natural de origen herbal, 0.33%) en dietas a base de sorgo-pasta de soya más aminoácidos sintéticos, sobre las variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma. Cada etapa duró cuatro semanas. En cerdos en Crecimiento, no se observó efecto ($P > 0.05$) de la adición o de la fuente de colina sobre las variables analizadas. En Finalización I no se encontró efecto ($P > 0.05$) de la suplementación o de la fuente de colina sobre las variables productivas ni en las características de la canal o la concentración de urea en plasma. En Finalización II, la adición de colina no influyó ($P > 0.05$) en las variables productivas ni en las características de la canal o en la concentración de urea en plasma, excepto que la grasa dorsal disminuyó ($P \leq 0.05$) al adicionar colina sintética. La colina adicionada a la dieta, o la fuente, no mejoró el crecimiento ni el rendimiento de los cerdos en las etapas evaluadas, ni afectó la concentración de urea en plasma, pero disminuyó la cantidad de grasa en la canal, lo que representa canales más magras y por ende un producto de mejor calidad para el consumo humano.

Palabras clave: cerdos en engorda, respuesta productiva, características de la canal, concentración de urea en plasma.

USE OF TWO SOURCES OF CHOLINE IN PIG DIETS AND ITS INFLUENCE ON PRODUCTIVITY

Fridz Reynold Ramírez Bonilla, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The study was conducted with 20 hybrid (Yorkshire×Duroc×Pietrain) pigs, barrows and gilts, during Growing (25.24 ± 3.0 kg initial body weight; five replicates per treatment) and 15 Finishing I (50 to 75 kg; 52.94 ± 2.6 kg initial body weight; five replicates per treatment) and II (75 to 100 kg; 75.90 ± 2.1 kg initial body weight; five replicates per treatment) pigs (barrows and gilts), allotted in single pens and fed *ad libitum*, to evaluate the effect of two sources of choline (synthetic, 0.33%; and natural from herbal origin, 0.33%) added to sorghum grain-soybean meal, amino acids-supplemented diets, on growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration. Each stage lasted four weeks. In Growing pigs, the addition or the source of choline did not affect ($P > 0.05$) growth performance, carcass characteristics or plasma urea nitrogen concentration. In Finishing I pigs there was no effect ($P > 0.05$) of choline addition or source on growth performance, carcass characteristics or plasma urea nitrogen concentration. In Finishing II, the addition of choline did not influence the growth performance, carcass characteristics variables and plasma urea nitrogen concentration, except backfat thickness, that was reduced ($P \leq 0.05$) when adding synthetic choline. Choline addition or source did not improve growth performance and carcass characteristics, nor reduced plasma urea nitrogen concentration in growing and finishing pigs, but it decreased the amount of fat in the carcass, which means leaner carcass and therefore, a product with better quality for human consumption.

Keywords: fattening pigs, productive response, carcass characteristics, plasma urea concentration.

1.1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia productiva en la industria porcina se refiere a la utilización óptima de los recursos disponibles para producir el mayor número de lechones y kilogramos de carne, de la mejor calidad y en el menor tiempo posible, desde la maternidad hasta la finalización del cerdo. A partir del siglo XX inicia una corriente creciente que pone mayor atención en mejorar el crecimiento y la conformación en los animales de abasto, a través de la mejora en la nutrición, selección genética y las técnicas de medición de estas variables; es así como hoy en día existen animales con altos índices de crecimiento y eficiencia alimenticia, que producen carne con mayor contenido de tejido magro y menos grasa (Mitchell, 2007). Adicionalmente, la selección genética ha incrementado la prolificidad de la cerda, al originar camadas más numerosas al nacimiento, dada la mejora genética para mayor porcentaje de ovulación y supervivencia embrionaria o fetal (Foxcroft *et al.*, 2009).

En la nutrición porcina, la alimentación por fases es una de las estrategias para aumentar la eficiencia en el uso de los nutrientes provenientes de la dieta (Almeida *et al.*, 2012). El conocimiento de las bases bioquímicas de la absorción y las funciones metabólicas de los aminoácidos (AA) en el crecimiento, desarrollo, lactancia, reproducción, entre otros, también es una herramienta para mejorar la utilización de la proteína, al minimizar los desechos de nitrógeno en orina y heces (Rezaei *et al.*, 2013). Así, el uso de dietas con baja proteína, adicionadas con aminoácidos sintéticos (Gómez *et al.*, 2002; Figueroa *et al.*, 2012) y la inclusión de una gama de aditivos alimenticios (Jacela *et al.*, 2009) permiten incidir positivamente en la producción porcina mundial, sin dejar a un lado la importancia de mejorar el confort ambiental para los animales durante la producción y previo al sacrificio, el cual afecta directamente el comportamiento productivo y la calidad del producto final.

Actualmente, las empresas y personas que promueven la salud, están volviendo a introducir un antiguo concepto llamado "nutracéutico", que son productos naturales o complementos de una dieta que tienen impacto en la salud y/o respuesta animal, más allá del aporte de nutrientes. El hecho de que los ingredientes sean altamente procesados, provenientes de cultivos que crecen con fertilizantes químicos, pesticidas, herbicidas y, a menudo, semillas modificadas genéticamente, carecen de los nutrientes suficientes necesarios para una salud y una producción animal óptimas. El término "nutracéuticos" fue acuñado por Stephen L. DeFelice, MD, en 1989. La palabra es un acrónimo de "nutrición" y "farmacéutico" y se refiere a extractos de alimentos que se dice que tienen un efecto medicinal sobre la salud humana (DeFelice, 2002), lo que presumiblemente también podría esperarse en animales.

Existen pocos datos de investigación para respaldar los niveles de inclusión de colina recomendados para su uso en dietas para cerdos. Se ha reportado que una deficiencia de colina en cerdos jóvenes da como resultado conformación corporal anormal, falta de coordinación en movimiento, rigidez en articulaciones, hígado graso, oclusión glomerular renal, entre otros (Wintrobe *et al.*, 1942; Ellis *et al.*, 1943; Neumann *et al.*, 1949). En 1998, *The Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine* (U.S. National Academy of Science) publicó valores de referencia de ingesta dietética de las vitaminas del grupo B y de colina. Los datos experimentales no fueron suficientes para establecer los Requerimientos Medios Estimados (EAR) para colina. El objetivo de esta investigación fue evaluar la adición de niveles adicionales de colina proveniente de dos fuentes, en dietas para cerdos en crecimiento y finalización en la respuesta productiva, las características de la canal y la concentración de urea en plasma.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1. Descripción del lugar de estudio

El estudio se realizó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo ubicado en 19° 30' N y 98° 53' O, a una altitud de 2,250 msnm (García, 2004).

1.2.2. Animales, dietas e instalaciones

En la etapa de crecimiento se utilizaron 20 cerdos híbridos (Yorkshire×Duroc×Pietrain) de ambos sexos con un peso inicial de 25.24 ± 3.0 kg, distribuidos en cuatro tratamientos con 5 repeticiones. Los tratamientos consistieron en T1: 0.0 (testigo), T2: 0.333 kg/Ton de cloruro de colina, T3: 0.333 kg/Ton de colina herbal y T4: 0.17 kg/Ton de cloruro de colina + 0.17 kg/Ton de colina herbal (Cuadro 1). Para las dos etapas de finalización se utilizaron 15 cerdos híbridos (Yorkshire×Duroc×Pietrain) de ambos sexos, cuyo peso vivo inicial fue de 52.94 ± 2.6 kg, distribuidos en tres tratamientos con cinco repeticiones por tratamiento. Los tratamientos consistieron en T1: 0.0 (testigo), T2: 0.333 kg/Ton de cloruro de colina y T3: 0.333 kg/Ton de colina herbal (Cuadros 2 y 3). Los cerdos fueron alimentados a libre acceso con dieta elaborada a base de sorgo-pasta de soya con aminoácidos sintéticos (L-Lisina·HCL, DL-Metionina [Evonik Industries AG., Parsippany, NJ, USA], L-Treonina [Jefo Nutrition Inc., Saint-Hyacinthe, Québec, Canadá]). El manejo de los animales fue de acuerdo con las recomendaciones de la Guía Biomédica Internacional de Principios para el Uso de Animales en Investigación (Consejo Internacional de las Organizaciones de Ciencias Médicas, CIOMS, 2001) y las Especificaciones Técnicas para la Producción, Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio (Norma Oficial Mexicana: NOM-062-ZOO-1999, 2001). Los cerdos se alojaron en corrales individuales de herrería (1.50×1.20 m) con piso de concreto cubierto parcialmente con *slat* de plástico, equipados con comedero metálico de una boca, bebedero de chupón y una lámpara incandescente de luz infrarroja de 150 W. La ventilación de la caseta se realizó mediante el manejo manual de cortinas.

Cuadro 1. Composición de la dieta para cerdos en etapa de Crecimiento (25-50 kg)

Ingrediente kg	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
Sorgo	75.52	75.19	75.19	75.19
Pasta de soya (44 %)	21.50	21.50	21.50	21.50
Aceite de soya	0.37	0.37	0.37	0.37
Biolys (L-Lisina HCl 54.6 %)	0.40	0.40	0.40	0.40
MetAMINO (DL-Metionina 99 %)	0.03	0.03	0.03	0.03
L-Treonina (98.5 %)	0.04	0.04	0.04	0.04
Premezcla de vitaminas [†]	0.20	0.20	0.20	0.20
Premezcla de minerales ^v	0.15	0.15	0.15	0.15
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30
Carbonato de calcio (38 %)	1.47	1.47	1.47	1.47
Colina sintética (Colina HCl)	0.00	0.33	0.00	0.17
Biocholine powder (Colina herbal)	0.00	0.00	0.33	0.17
Proteasas	0.03	0.03	0.03	0.03
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Aporte nutricional				
Energía metabolizable Mcal kg ⁻¹	3.30	3.30	3.30	3.30
Proteína cruda	16.90	16.90	16.90	16.90
Lisina	0.98	0.98	0.98	0.98
Metionina	0.29	0.29	0.29	0.29
Treonina	0.60	0.60	0.60	0.60
Triptófano	0.17	0.17	0.17	0.17
Fenilalanina	0.75	0.75	0.75	0.75
Arginina	0.98	0.98	0.98	0.98
Histidina	0.42	0.42	0.42	0.42
Isoleucina	0.62	0.62	0.62	0.62
Leucina	1.45	1.45	1.45	1.45
Valina	0.82	0.82	0.82	0.82
Metionina + Cistina	0.55	0.55	0.55	0.55
Calcio	0.66	0.66	0.66	0.66
Fósforo	0.36	0.36	0.36	0.36

[†]Cada kg aportó 5.0×10⁶ UI de vitamina A, 1.0×10⁶ UI de vitaminaD3 y 2.0×10⁴ UI de vitamina

E; 2 g de vitamina k3, 1 g de tiamina, 5 g de rivo flavina, 2 g de piridoxina, 15 g de D-Pantotenato de calcio, 3 g de ácido fólico, 225 g de cloruro de colina, 0.3 g de antioxidante; 15 mg de vitamina B12 y 180 mg de vitamina H-Biotina. REKA ® Lapisa Nutrición Animal.

^vCada kg aportó: 0.2 g de Se, 0.1 g de Co, 0.3 g de I, 10 g de Cu, 100 g de Fe y 100 g de Mn.

REKA ® Lapisa Nutricion Animal.

Cuadro 2. Composición de la dieta para cerdos en etapa de Finalización I (50-75 kg)

Ingrediente, %	Tratamiento		
	T1	T2	T3
Sorgo	82.658	82.328	82.328
Pasta de soya (44 %)	14.461	14.461	14.461
Aceite de soya	0.615	0.615	0.615
Biolys (L-Lisina HCl 54.6 %)	0.646	0.646	0.646
MetAMINO (DL- Metionina 99 %)	0.102	0.102	0.102
L-Treonina (98.5 %)	0.074	0.074	0.074
Premezcla de vitaminas [†]	0.20	0.20	0.20
Premezcla de minerales ^v	0.15	0.15	0.15
Sal	0.300	0.300	0.300
Carbonato de calcio (38 %)	0.764	0.764	0.764
Colina sintética (Colina HCl)	0	0.33	0.00
Biocholine powder (Colina herbal)	0	0.00	0.33
Proteasas	0.030	0.030	0.030
Total	100.00	100.00	100.00
Aporte nutricional, %			
Energía metabolizable Mcal kg ⁻¹	3.30	3.30	3.30
Proteína cruda	15.20	15.20	15.20
Lisina	0.85	0.85	0.85
Metionina	0.31	0.31	0.31
Treonina	0.52	0.52	0.52
Triptófano	0.15	0.15	0.15
Fenilalanina	0.66	0.66	0.66
Arginina	0.75	0.75	0.75
Histidina	0.32	0.32	0.32
Isoleucina	0.54	0.54	0.54
Leucina	1.37	1.37	1.37
Valina	0.68	0.68	0.68
Metionina + Cistina	0.48	0.48	0.48
Calcio	0.55	0.55	0.55
Fósforo disponible	0.34	0.34	0.34

[†]Cada kg aportó 5.0×10⁶ UI de vitamina A, 1.0×10⁶ UI de vitaminaD3 y 2.0×10⁴ UI de vitamina E; 2 g de vitamina k3, 1 g de tiamina, 5 g de riovflavina, 2 g de piridoxina, 15 g de D-Pantotenato de calcio, 3 g de ácido fólico, 225 g de cloruro de colina, 0.3 g de antioxidante; 15 mg de vitamina B12 y 180 mg de vitamina H-Biotina. REKA ® Lapis Nutricion Animal.

^vCada kg aportó: 0.2 g de Se, 0.1 g de Co, 0.3 g de I, 10 g de Cu, 100 g de Fe y 100 g de Mn. REKA ® Lapis Nutrición Animal.

Cuadro 3. Composición de la dieta para cerdos en etapa de Finalización II (75-100 kg)

Ingrediente, %	Tratamiento		
	T1	T2	T3
Sorgo	86.992	86.354	86.354
Pasta de soya (44 %)	10.415	10.503	10.503
Aceite de soya	0.462	0.680	0.680
Biolys (L-Lisina HCl 54.6 %)	0.611	0.608	0.608
MetAMINO (DL-Metionina 99 %)	0.079	0.080	0.080
L-Treonina (98.5 %)	0.067	0.068	0.068
Premezcla de vitaminas [†]	0.20	0.20	0.20
Premezcla de minerales ^v	0.15	0.15	0.15
Sal	0.300	0.300	0.300
Carbonato de calcio (38 %)	0.694	0.697	0.697
Colina sintética (Colina HCl)	0	0.33	0
Biocholine powder (Colina herbal)	0	0	0.33
Proteasas	0.030	0.030	0.030
Total	100.00	100.00	100.00
Aporte nutricional, %			
Energía metabolizable Mcal kg ⁻¹	3.30	3.30	3.30
Proteína cruda	13.63	13.61	13.61
Lisina	0.73	0.73	0.73
Metionina	0.27	0.27	0.27
Treonina	0.46	0.46	0.46
Triptófano	0.13	0.13	0.13
Fenilalanina	0.59	0.59	0.59
Arginina	0.63	0.63	0.63
Histidina	0.28	0.28	0.28
Isoleucina	0.48	0.48	0.48
Leucina	1.29	1.28	1.28
Valina	0.60	0.60	0.60
Metionina + Cistina	0.42	0.42	0.42
Calcio	0.52	0.52	0.52
Fósforo	0.32	0.32	0.32

[†]Cada kg aportó 5.0×10⁶ UI de vitamina A, 1.0×10⁶ UI de vitaminaD₃ y 2.0×10⁴ UI de vitamina

E; 2 g de vitamina k₃, 1 g de tiamina, 5 g de rivotflavina, 2 g de piridoxina, 15 g de D-Pantotenato de calcio, 3 g de ácido fólico, 225 g de cloruro de colina, 0.3 g de antioxidante; 15 mg de vitamina B₁₂ y 180 mg de vitamina H-Biotina. REKA ® Lapisa Nutrición Animal.

^vCada kg aportó: 0.2 g de Se, 0.1 g de Co, 0.3 g de I, 10 g de Cu, 100 g de Fe y 100 g de Mn.

REKA ® Lapisa Nutrición Animal.

1.2.3. Toma de muestras y datos

El día primero y el último de cada periodo se pesaron los animales y se obtuvieron los valores iniciales y finales de peso vivo (PVi, PVf, kg), con los cuales se determinó la ganancia diaria de peso (GDP, kg d⁻¹); el consumo diario de alimento (CDA, kg d⁻¹) se calculó con el alimento ofrecido menos el rechazado; y la conversión alimenticia (CA, kg/kg) con la GDP/CDA. También el primero y el último día se midió la grasa dorsal y el área del músculo *Longissimus dorsi* a nivel de la décima costilla utilizando un ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 con transductor abdominal de 7.5 MHz (Medison, Inc. Cypress, California, USA), con lo que se obtuvo la grasa dorsal inicial y final (GDi, GDf, mm), el área del músculo *Longissimus dorsi* inicial y final (AMLi, AMLf cm²). Asimismo, estos datos junto con los del peso vivo inicial y final, se utilizaron para determinar el porcentaje de carne magra (PCMi, PCMf, %) inicial y final y la ganancia de carne magra (GCM, kg d⁻¹) de cada etapa mediante la ecuación número 5 del *National Pork Producers Council* (Burson y Berg, 2001). Para determinar la concentración de urea en plasma se tomaron muestras de sangre el día final de cada etapa por medio de punción en la vena cava utilizando tubos Vacutainer®; las muestras se colocaron en hielo hasta centrifugarse a 2,500 rpm durante 20 min (IEC Centra 8R, International Equipment Company, USA) para separar el plasma del paquete celular. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno para su almacenamiento en un congelador EUR251P7W Tappan, Electrolux Home Products NorthAmerica, USA) a -20 °C hasta la determinación de urea por espectrofotometría UV (Spectrophotometer Cary 1E UV-vis, Varian, Australia; Chaney y Marbach, 1962).

1.2.4. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, donde la unidad experimental fue un cerdo alojado en corral individual. Las variables se analizaron con el procedimiento GLM (SAS, 2010) con el peso vivo inicial como covariable; y la comparación de medias de tratamientos se hizo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$; Steel *et al.*, 1997).

1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.3.1. Comportamiento productivo

Los animales de este estudio atravesaron por un problema de contaminación de micotoxinas en el alimento, lo cual redujo el número de repeticiones por tratamiento. En la etapa de crecimiento (Cuadro 4) no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) para las variables de comportamiento productivo; tampoco se observa una tendencia, del efecto del nivel de adición o de la fuente de colina en la dieta. Asimismo, la adición de colina sintética o herbal a la dieta (Cuadros 6 y 8) no afectó ($P > 0.05$) la respuesta productiva (GDP, CAL, CA, PVf y GCM) de los cerdos en ambas etapas de finalización. Lo anterior podría deberse a que los productos derivados de la soya, utilizados en la fabricación de alimento para los cerdos (como la pasta de soya), son ricos en colina biodisponible, por lo que la adición de más colina a dieta elaborada con base a pasta de soya y maíz o proteína de soya aislada y maíz no afectan la respuesta animal (Bryant *et al.*, 1977; Russett *et al.*, 1979, North Central Region-42 Committee on Swine Nutrition, 1980). Estos resultados son consistentes comparados con los de Ceron *et al.* (2015) en los cuales no hubo diferencia significativa para consumo diario de alimento y conversión alimenticia. Pompeu *et al.* (2011) no encontraron diferencias por la suplementación de colina en la dieta para las variables productivas estudiadas, pero sí para la conversión alimenticia con 400 mg colina kg^{-1} . Asimismo, los resultados obtenidos en este estudio no concuerdan con los reportes de efecto benéfico de la colina sobre la producción porcina (Pesti *et al.*, 1980; Zeisel, 1981; Niculescu y Ziesel, 2002; Niculescu *et al.*, 2006); ni con reportes del uso fuente herbal o sintética de colina en dietas para pollos de engorda (Calderano *et al.*, 2015); y tampoco con los encontrados por diversos investigadores que también utilizaron cantidades de algunas vitaminas por arriba del requerimiento

para animales domésticos, quienes obtuvieron resultados positivos en algunas variables (L-carnitina [antioxidante, mejora la reproducción y la producción de leche en cerdas], Ramanau *et al.*, 2004; β -carotenos [aumento de la fertilidad en bovinos], Ondarza *et al.*, 2009; vitamina E [mejora en la calidad de la carne], Cardinali *et al.*, 2015; niacina [control de cetosis en bovinos], Havlin *et al.*, 2016; vitamina C [refuerza el sistema inmune, tiene efecto antioxidante y actúa como antiinflamatorio], Soelstra-de Man *et al.*, 2018; biotina [mejora de la salud en pezuñas de bovinos, ayuda a regenerar las células pancreáticas para la secreción de insulina], Tixi-Verdugo *et al.*, 2018).

1.3.2. Características de la canal

Durante la etapa de Crecimiento no se vieron afectadas ($P > 0.05$) las características de la canal (GDf, AMLf y %CMf) al agregar la colina a la dieta, o de la fuente de colina (sintética o herbal; (Cuadro 5). Durante la etapa de Finalización I, las características de la canal (GDf, AMLf y %CMf) tampoco se afectaron ($P > 0.05$) al agregar ambos tipos de colina (sintética o herbal) a la dieta (Cuadro 7). En Finalización II (Cuadro 9), no se observaron efectos ($P > 0.05$) de la adición o de la fuente de colina en la dieta para AMLf y %CMf; sin embargo, la GDf de los cerdos suplementados con colina sintética fue 12.18% menor ($P \leq 0.05$), comparados con los cerdos alimentados con la dieta testigo. Estos resultados concuerdan con los reportes que indicaban beneficios sobre las variables productivas en los cerdos con adición de colina (Pesti *et al.*, 1980; Zeisel, 1981; Niculescu y Ziesel, 2002; Niculescu *et al.*, 2006); y son similares a los encontrados por Calderano *et al.* (2015), quienes realizaron un estudio con pollos de engorda donde compararon el efecto de dos fuentes de colina (sintética y herbal), en el cual no encontraron diferencias significativas en el rendimiento de pollos de engorda. Por otra parte, la reducción de la grasa en la carne de animales destinados para consumo humano es muy importante hoy en día ya que va en

aumento la tendencia a ingerir alimentos con menor porcentaje de grasa. Dicha reducción podría deberse a la participación de la colina en las rutas metabólicas del animal, especialmente en la síntesis de componentes de la pared celular. Por otra parte, la reducción de la grasa dorsal en los cerdos que recibieron la colina sintética concuerda con los reportes de varios investigadores que utilizaron concentraciones de algunas vitaminas por arriba del requerimiento para diversas especies domésticas y encontraron beneficios sobre algunas variables (L-carnitina [antioxidante, mejora la reproducción y la producción de leche en cerdas], Ramanau *et al.*, 2004; β -carotenos [aumento de la fertilidad en bovinos], Ondarza *et al.*, 2009; vitamina E [mejora en la calidad de la carne], Cardinali *et al.*, 2015; niacina [control de cetosis en bovinos], Havlin *et al.*, 2016; vitamina C [refuerza el sistema inmune, tiene efecto antioxidante y actúa como antiinflamatorio], Soelstra-de Man *et al.*, 2018; biotina [mejora de la salud en pezuñas de bovinos, ayuda a regenerar las células pancreáticas para la secreción de insulina], Tixi-Verdugo *et al.*, 2018).

1.3.3. Urea

La adición de colina sintética o herbal en la dieta (Cuadros 5, 7 y 9) no afectó ($P > 0.05$) la concentración de urea en plasma en las etapas de Crecimiento, Finalización I y Finalización II. Tampoco se encontró alguna tendencia de que colina pueda afectar la concentración de urea en plasma. Se observa que los valores encontrados en dichas etapas y en todos los cerdos, son más altos de lo normal para esta etapa final de la engorda, lo que podría deberse a otras condiciones metabólicas o de salud y no a la colina añadida al alimento. Estos resultados concuerdan con los de Ceron *et al.* (2015), quienes compararon fuente sintética y herbal en cerdos y no encontraron diferencia en algunas variables; pero no coinciden con los reportes de investigadores que agregaron cantidades adicionales de vitaminas, por arriba del requerimiento, a la dieta de diversos animales

domésticos, quienes reportaron mejoría en algunas variables (L-carnitina [antioxidante, mejora la reproducción y la producción de leche en cerdas], Ramanau *et al.*, 2004; β -carotenos [aumento de la fertilidad en bovinos], Ondarza *et al.*, 2009; vitamina E [mejora en la calidad de la carne], Cardinali *et al.*, 2015; niacina [control de cetosis en bovinos], Havlin *et al.*, 2016; vitamina C [refuerza el sistema inmune, tiene efecto antioxidante y actúa como antiinflamatorio], Soelstra-de Man *et al.*, 2018; biotina [mejora de la salud en pezuñas de bovinos, ayuda a regenerar las células pancreáticas para la secreción de insulina], Tixi-Verdugo *et al.*, 2018).

Cuadro 4. Comportamiento productivo de cerdos en etapa de Crecimiento suplementados con dos fuentes de colina

Tratamiento	Etapa de Crecimiento					
	GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PVi (kg)	PVf (kg)	GCM (kg d ⁻¹)
Testigo	0.46 ± 0.02	1.18 ± 0.06	2.55 ± 0.17	26.16 ± 1.31	54.88 ± 1.31	0.16 ± 0.01
Colina sintética	0.43 ± 0.02	1.07 ± 0.08	2.41 ± 0.21	24.87 ± 1.60	52.88 ± 1.60	0.15 ± 0.01
Colina herbal	0.43 ± 0.02	1.11 ± 0.08	2.60 ± 0.21	24.12 ± 1.60	52.88 ± 1.62	0.15 ± 0.01
Herval + Sintética	0.47 ± 0.02	1.24 ± 0.06	2.61 ± 0.17	25.83 ± 1.31	55.60 ± 1.30	0.17 ± 0.01
Valor de <i>P</i>	0.47	0.42	0.89	-	0.47	0.70

Valor de probabilidad del análisis estadístico realizado con GLM de SAS

En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PVi = Peso vivo inicial, PVf = Peso vivo final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 5. Características de la canal de cerdos en etapa de crecimiento suplementados con dos fuentes de colina

Tratamiento	Etapa de Crecimiento						
	GDi (mm)	GDf(mm)	AMLi (cm ²)	AMLf (cm ²)	% CMi	% CMf	Urea
Testigo	5.12 ± 0.24	8.68 ± 0.32	13.43 ± 0.40	21.81 ± 1.43	43.90 ± 0.56	39.74 ± 0.81	35.07 ± 2.82
Colina sintética	5.14 ± 0.30	8.10 ± 0.39	12.78 ± 0.49	20.72 ± 1.74	42.95 ± 0.69	39.65 ± 0.99	31.51 ± 3.43
Colina herbal	4.84 ± 0.30	8.25 ± 0.40	13.08 ± 0.49	20.39 ± 1.77	44.29 ± 0.70	39.65 ± 1.00	41.47 ± 3.48
Herbal + Sintética	5.05 ± 0.24	8.74 ± 0.32	12.82 ± 0.40	21.27 ± 1.42	43.50 ± 0.56	39.34 ± 0.81	30.63 ± 2.80
Valor de P	-	0.54	-	0.93	-	0.98	0.12

Valor de probabilidad del análisis estadístico realizado con GLM de SAS

En todas las variables de las características de la canal se agregó el error estándar de la media (EEM)

GDi = Grasa dorsal inicial, GDf = Grasa dorsal final, AMLi = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLf = Área del músculo *longissimus* final, CMi = Carne magra inicial, CMf = Carne magra final.

Cuadro 6. Comportamiento productivo de cerdos en etapa de Finalización I suplementados con dos fuentes de colina

Tratamiento	Etapa de Finalización I					
	GDP (kg d-1)	CAL (kg d-1)	CA	PVi (kg)	PVf (kg)	GCM (kg d-1)
Testigo	0.60 ± 0.05	1.89 ± 0.04	3.21 ± 0.21	55.14 ± 2.73	75.21 ± 1.74	0.25 ± 0.22
Colina sintética	0.61 ± 0.05	1.91 ± 0.04	3.18 ± 0.21	53.86 ± 2.73	75.56 ± 1.73	0.26 ± 0.22
Colina herbal	0.65 ± 0.05	1.89 ± 0.04	3.05 ± 0.21	49.83 ± 2.95	76.95 ± 1.75	0.24 ± 0.23
Valor de P	0.77	0.95	0.86	-	0.76	0.84

Valor de probabilidad del análisis estadístico realizado con GLM de SAS

En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PVi = Peso vivo inicial, PVf = Peso vivo final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 7. Características de la canal de cerdos en etapa de Finalización I suplementados con dos fuentes de colina

Etapa de Finalización I							
Tratamiento	GDi (mm)	GDF(mm)	AMLi (cm ²)	AMLf (cm ²)	% CMi	% CMf	Urea
Testigo	8.56 ± 0.31	9.83 ± 0.40	20.93 ± 1.05	28.86 ± 1.60	39.54 ± 0.71	39.93 ± 0.80	32.34 ± 2.96
Colina sintética	8.54 ± 0.31	9.25 ± 0.40	21.20 ± 1.04	29.52 ± 1.58	39.65 ± 0.70	40.56 ± 0.79	34.37 ± 2.98
Colina herbal	7.75 ± 0.31	9.48 ± 0.40	19.21 ± 1.05	25.38 ± 1.60	38.74 ± 0.70	38.01 ± 0.80	35.51 ± 2.98
Valor de P	-	0.60	-	0.18	-	0.83	0.75

Valor de probabilidad del análisis estadístico realizado con GLM de SAS

En todas las variables de las características de la canal se agregó el error estándar de la media (EEM)

GDi = Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLi = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLf = Área del músculo *longissimus* final, CMi = Carne magra inicial, CMf = Carne magra final.

Cuadro 8. Comportamiento productivo de cerdos en etapa de Finalización II suplementados con dos fuentes de colina

Tratamiento	Etapa de Finalización II					
	GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PVi (kg)	PVf (kg)	GCM (kg d ⁻¹)
Testigo	0.86 ± 0.05	2.06 ± 0.13	2.45 ± 0.20	76.86 ± 3.69	100.09 ± 1.42	0.22 ± 0.02
Colina sintética	0.77 ± 0.05	1.95 ± 0.13	2.54 ± 0.20	76.14 ± 3.69	97.59 ± 1.42	0.20 ± 0.02
Colina herbal	0.81 ± 0.05	1.82 ± 0.13	2.28 ± 0.20	74.71 ± 3.69	98.74 ± 1.42	0.21 ± 0.02
Valor de <i>P</i>	0.48	0.48	0.67	-	0.47	0.86

Valor de probabilidad del análisis estadístico realizado con GLM de SAS

En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PVi = Peso vivo inicial, PVf = Peso vivo final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 9. Características de la canal de cerdos en etapa de Finalización II suplementados con dos fuentes de colina

Tratamiento	Etapa de Finalización II						
	GDi (mm)	GDf(mm)	AMLi (cm ²)	AMLf (cm ²)	% CMi	% CMf	Urea
Testigo	9.89 ± 0.37	15.92 ± 0.54b	29.15 ± 1.83	36.12 ± 1.33	39.94 ± 0.83	38.18 ± 0.43	27.41 ± 3.83
Colina sintética	9.54 ± 0.37	13.98 ± 0.53a	28.24 ± 1.83	34.29 ± 1.33	39.60 ± 0.83	38.19 ± 0.43	33.89 ± 3.80
Colina herbal	9.42 ± 0.37	14.40 ± 0.54ab	27.17 ± 1.83	34.13 ± 1.33	39.09 ± 0.83	37.97 ± 0.43	36.57 ± 3.83
Valor de P	-	0.05	-	0.51	-	0.87	0.26

Valor de probabilidad del análisis estadístico realizado con GLM de SAS

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

En todas las variables de las características de la canal se agregó el error estándar de la media (EEM)

GDi = Grasa dorsal inicial, GDf = Grasa dorsal final, AMLi = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLf = Área del músculo *longissimus* final, CMi = Carne magra inicial, CMf = Carne magra final.

1.4. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó este trabajo, la adición de colina en las dietas para cerdos en etapas de Crecimiento, Finalización I y Finalización II, no mejora las variables productivas de los animales. En cuanto a las características de la canal de la etapa de Finalización II, la colina sintética puede ser útil para reducir la grasa dorsal.

1.5. LITERATURA CITADA EN ARTÍCULO

Almeida, V. V., A. J. C. Núñez and V. S. Miyada. 2012. Ractopamine as a modifier feed additive for finishing pigs: a review. *Braz. Biol. Technol.* 55 (3): 445-456.

Bryant, K. L., G. E. Combs, and H. D. Wallace. 1977. Supplemental choline for young and growing-finishing swine. Florida Agricultural Experiment Station Twenty-second Annual Swine Field Day. Research Report AL-1977-1. Gainesville, FL: Florida Agricultural Experiment Station.

Burson D., and E. Berg. 2001. Producers for estimating pork carcass composition. *Pork Quality Facts*. National Pork Producers Council. Des Moines. IA. USA.

Calderano, A. A., R. V. Nunes, R. J. B. Rodrigues, e R. A. César. 2015. Substituição do cloreto de colina por uma fonte de colina vegetal em dietas para frangos de corte. *Ciência Animal Brasileira*, 16(1), 37-44.

Cardinali, R., M. Cullere, A. Dal Bosco, C. Mugnani, S. Ruggeri, S. Mattioli, C. Castellini, *et al.*, 2015. Oregano, rosemary and vitamin E dietary supplementation in growing rabbits: effect on growth performance, carcass traits, bone development and meat chemical composition. *Livest. Sci.* 175:83-89.

Ceron M. S., A. de M. Kessler, A. M. L. Ribeiro. 2015. Relatório de experimento: Estudo comparativo sobre o desempenho zootécnico e parâmetros sanguíneos de suínos em face de crèche recebendo duas fontes de colina na dieta. Laboratório de Ensino Zootécnico (LEZO). Universidad Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Brasil p 6-8.

Chaney, A. L. and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.

CIOMS (Council for International Organizations of Medical Sciences). 2001. “International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals”. CIOMS, Geneva, Switzerland.

DeFelice, S. L. FIM Rationale and Proposed Guidelines for the Nutraceutical Research e Education Act—NREA, November 10, 2002. Foundation for Innovation in Medicine. <http://www.fimdefelice.org/archives/arc.researchact.html>.

Ellis, N. R., L. L. Madsen and C. O. Miller. 1943. Pantothenic acid and pyridoxine as factors in the occurrence of locomotor incoordination in swine. *J. Anim. Sci.* 2:365. Abstr.

Figuerola, J. L., J. Estrada, V. Zamora, J. L. Cordero, M. T. Sánchez-Torres, R. Nieto and J. M. F. Copado. 2012. Digestible lysine levels in low-protein diets supplemented with synthetic amino acids for nursery, growing and finishing barrows. *Irish J. Agr. Food. Res.* 51: 33-44.

Foxcroft, G. R., W. T. Dixon, M. K. Dyck, S. Novak, J. C. S. Harding and F.C.R.L. Almeida. 2009. Prenatal programming of postnatal development in the pig. *Soc. Reprod. Fertil. Suppl.* 66: 213-231.

García, E. 2004. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª. Edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México 90 p.

Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller and H. Y. Chen. 2002. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.

Havlin, J. M., P. H. Robinson, and J. E. Garrett. 2016. Niacin feeding to fresh dairy cows: immediate effects on health and milk production. *Anim. Prod. Sci.* 57(6): 1069-1078.

Jacela, J. Y., J. M. DeRouche, M. D. Tokach, R. D. Goodband, J. L. Nelssen, D. G. Renter and S. S. Dritz. 2009. Feed additives for swine: fact sheets-carcas modifiers, carbohydrate-degrading enzymes and proteases, and anthelmintics. *J. Swine Health Prod.* 17(6): 325-332.

Mitchell, A. D. 2007. Impact of research with cattle, pigs, and sheep on nutritional concepts: body composition and growth. *J. Nutr.* 137: 711-714.

Neumann, A. L., J. L. Krider, M. R. James, and B. C. Johnson. 1949. The choline requirement of the baby pig. *J. Nutr.* 38:195–214.

Niculescu M. D., S. H. Zeisel. 2002. Diet, methyl donors and DNA methylation: interactions between dietary folate, methionine and choline. *J. Nutr.* 132(8 Suppl):2333s–5s. Epub 2002/08/07. PubMed PMID: 12163687.

Niculescu M. D., C. N. Craciunescu, H. S. Zeisel. 2006. Dietary choline deficiency alters global and gene-specific DNA methylation in the developing hippocampus of mouse fetal brains. *FASEB journal: official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology.* 20(1):43–9. Epub 2006/01/06. doi: 10.1096/fj.05-4707com PMID: 16394266; PubMed Central PMCID: PMC1635129.

Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1999). 2001. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio. Ochoa M. L. I. ed. Diario Oficial de la Federación. México (D.F.), México.

North Central Region-42 Committee on Swine Nutrition. 1980. Effect of supplemental choline on performance of starting, growing and finishing pigs: A cooperative regional study. *J. Anim. Sci.* 50:99–102.

Ondarza M. B., J. W. Wilson, and M. Engstrom. 2009. Case study: Effect of supplemental β -carotene on yield of milk and milk components and on reproduction of dairy cows. *Prof. Anim. Sci.* 25(4): 510-516.

Pesti G. M., A. E. Harper. M. L. Sunde. 1980. Choline/methionine nutrition of starting broiler chicks. Three models for estimating the choline requirement with economic considerations. *Poultry Sci.* 59 (5):1073–81. Epub 1980/05/01. PubMed PMID: 7393840.

Pompeu, M. A., L. J. C. Lara, N. C. Baião, R. Ecco, S. V. Cançado, J. S. R. Rocha, . L. C. Machado, e R. J. C. Vasconcelos. 2011. Suplementação de colina em dietas para frangos de corte machos na fase inicial de criação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63(6), 1446-1452

Ramanau, A., H. Kluge, J. Spilke, and K. Eder. 2004. Supplementation of sows with L-Carnitine during pregnancy and lactation improves growth of piglets during the suckling period through increased milk production. *J. Nutr.* 134(1): 86-92.

Rezaei, R., W. Wang, Z. Wu, Z. Dai, J. Wang and G. Wu. 2013. Biochemical and physiological bases for utilization of dietary amino acids by young pigs. *J. Anim. Sci. Biotech.* 4:7.

Russett, J. C., J. L. Krider, T. R. Cline, and L. B. Underwood. 1979. Choline requirement of young swine. *J. Anim. Sci.* 48:1366–1373.

SAS. 2010. Statistical Analysis System Institute. The SAS system for Windows V8. SAS 9.3. USA.

Spoelstra-de Man, A. M. E., P. W. G. Elbers, H.M. Oudemans-Van Straaten. 2018. Vitamin C: Should we supplement? *Current Opinion in Critical Care* 24:248-255.

Standing Comite on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline. National Academy Press. Washington, D. C. 592 p.

Steel, D. R. G., J. H. Torrie. y D. A. Dickey. 1997. Bioestadística: Principios y Procedimientos. 2a ed. McGraw-Hill. México, D. F. 622 p.

Tixi-Verdugo, W., J. Contreras-Ramos, G. Sicilia-Argumedo, G. Michael, and C. Fernandez-Mejía. 2018. Effects of Biotin supplementation during the first week postweaning increases pancreatic islet area, beta-cell proportion, islets number, and beta-cell proliferation. J. Med. Food. 21(3): doi: <http://doi.org/10.1089/jmf.2017.0077>

Wintrobe, M. M., M. H. Miller, R. H. Follis, H. J. Stein, C. Mushatt and S. Humphreys. 1942. Sensory neuron degeneration in pigs. J. Nutr. 24:345.

Zeisel S. H. 1981. Dietary choline: biochemistry, physiology, and pharmacology. Annu. Rev. Nutr. 1:95–121. Epub 1981/01/01. doi: 10.1146/annurev.nu.01.070181.000523 PMID: 6764726.