



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

**ADICIÓN DE CROMO-METIONINA A DIETAS
CON MAYOR CONCENTRACIÓN DE
AMINOÁCIDOS PARA CERDOS EN ENGORDA**

ALAIN DE LA CALLEJA HERNÁNDEZ

T E S I S

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

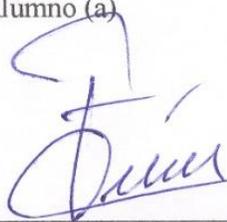
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Alain De la Calleja Hernández Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe 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 José Luis Figueroa Velasco por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis: Adición de cromo-metionina a dietas con mayor concentración de aminoácidos para cerdos en engorda 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 17 de junio de 2019



Firma del
Alumno (a)



Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **ADICIÓN DE CROMO-METIONINA A DIETAS CON MAYOR CONCENTRACIÓN DE AMINOÁCIDOS PARA CERDOS EN ENGORDA** realizada por el alumno: Alain De la Calleja Hernández, 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

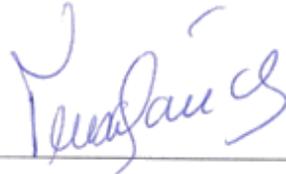
CONSEJO PARTICULAR

Consejero:



DR. JOSÉ LUIS FIGUEROA VELASCO

Asesora:



DRA. Ma. TERESA SÁNCHEZ-TORRES ESQUEDA

Asesor:



DR. JOSÉ ALFREDO MARTÍNEZ AISPURO

Asesor:



DR. EUTIQUIO SONI GUILLERMO

ADICIÓN DE CROMO-METIONINA A DIETAS CON
MAYOR CONCENTRACIÓN DE AMINOÁCIDOS PARA
CERDOS EN ENGORDA

ADICIÓN DE CROMO-METIONINA A DIETAS CON MAYOR CONCENTRACIÓN DE AMINOÁCIDOS PARA CERDOS EN ENGORDA

De la Calleja Hernández Alain, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

En la búsqueda constante por optimizar o disminuir los nutrientes aportados en la dieta de los cerdos sin arriesgar la productividad, aunado a la mejora de la calidad de la canal, investigaciones recientes sugieren una interacción positiva entre algunos aminoácidos (AA) y fuentes de cromo. En esta investigación se planteó evaluar el efecto de CrMet y diferentes niveles de aminoácidos en el comportamiento productivo, características de la canal y concentración de nitrógeno ureico en plasma de 42 cerdos Yorkshire×Pietrain-Duroc, en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×3: 0 y 2,000 ppm de CrMet y tres niveles de AA (estándar, 10 y 20% más), con siete repeticiones por tratamiento y cada cerdo alojado en corral individual. Las variables de respuesta fueron estudiadas en la etapa de crecimiento, finalización I y II, y el análisis global de todo el ciclo de la engorda. Las variables productivas y las características de la canal fueron afectadas negativamente en mayor medida en la etapa de crecimiento: tanto por la adición de más AA como por el CrMet (que disminuyó significativamente la GDP, PVf, GCM y AML); además, la CUP se incrementó hasta 136% al aumentar los niveles de AA. Para la etapa de finalización I, altos niveles de AA incrementaron la CA y disminuyeron la GDP y la GCM; 2,000 ppm de CrMet también disminuyó la CA. Para la etapa de finalización II, la adición de más AA a la dieta no afectó las variables productivas, de las características de la canal, ni la concentración de urea en plasma; pero la adición de CrMet mejoró el AML. De manera global, aumentar la concentración de AA por arriba de los requerimientos sugeridos, no mejoró las variables productivas ni las características de la canal, aunque no cambió la concentración de urea en plasma; al adicionar 2,000 ppm de CrMet disminuyó GDP y PVf, que para fines productivos representa un efecto adverso. La adición de CrMet (2,000 ppm) a cerdos en el ciclo de engorda, no mejoró las variables productivas y las características de la canal y se presentó un efecto negativo sobre todo en las primeras etapas.

Palabras clave: cromo-metionina, aminoácidos, cerdos, respuesta productiva, características de la canal, concentración de urea en plasma.

CHROME-METHIONINE SUPPLEMENTATION TO DIETS WITH HIGHER AMINO ACID CONCENTRATION FOR FATTENING PIGS

De la Calleja Hernández Alain, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

In the constant search to optimize or to reduce the dietary nutrients for pigs without affecting productivity, coupling with the improvement of the carcass quality, recent research suggested a positive interaction between some amino acids (AA) and chromium sources. In this research, the objective was to evaluate the effect of chromium-methionine (CrMet) and different levels of AA on growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration (PUN) of 42 pigs (Yorkshire×Pietrain-Duroc), in a completely randomized design with a 2×3 factorial arrangement: 0 and 2,000 ppm CrMet and three AA concentrations (standard, 10 and 20% more), with seven replicates per treatment and a pig individually penned as the replicate. The analyzed variables were obtained for growing, finishing I and finishing II phases, and for all the fattening period. The growth performance and carcass characteristics variables were negatively affected mainly in the growing phase: both the AA addition and the CrMet supplementation (the last significantly reduced ADG, final BW, FFLG, and LMA); in addition, the PUN increased by 136% when AA concentration was higher. In finishing I pigs, higher levels of AA increased FGR and reduced ADG and FFLG; also, 2,000 ppm CrMet increased FGR. In finishing II, the addition of more AA to diet did not affect growth performance and carcass characteristics variables, nor PUN concentration; but the CrMet supplementation improved LMA. In the global fattening period, increasing dietary AA concentration higher than the suggested requirements, did not improve growth performance and carcass characteristics variables, although did not affect PUN; supplementing 2,000 ppm CrMet reduced ADG and final BW, which, for productive purposes, represents an adverse effect. In conclusion, both the increase in AA concentration and CrMet supplementation (2,000 ppm) for fattening pigs do not improve growth performance and carcass characteristics variables and there was a negative effect, especially in the first and second fattening phases.

Keywords: chromium-methionine, amino acids, pigs, growth performance, carcass characteristics, plasma urea nitrogen concentration.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados y en especial al programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería del Campus Montecillo, por la oportunidad brindada para realizar un posgrado y por el financiamiento otorgado para la presente investigación. Concluyendo una etapa más en mi vida profesional y académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme otorgado una beca para realizar mis estudios de posgrado.

Al Ph. D. José Luis Figueroa Velasco por darme la oportunidad de trabajar con él y guiarme durante la maestría, por estar siempre al pendiente del trabajo realizado durante la investigación y durante el proceso en general del posgrado. Por sus acertados consejos y su apoyo incondicional.

A la Dra. María Teresa Sánchez-Torres Esqueda, Dr. José Alfredo Martínez Aispuro, Dr. Eutiquio Soní Guillermo y al Dr. José Luis García Cué por estar al pendiente durante la realización de la presente investigación y la revisión de la tesis, siempre aportando ideas y sus conocimientos que fueron de gran ayuda.

A la Dra. Magdalena Crosby Galván y a la Ing. Margarita Crosby Galván del Laboratorio de Nutrición Animal en el Colegio de Postgraduados, por su gran apoyo y por brindarme la confianza para realizar los análisis pertinentes para la presente investigación, así como su invaluable amistad. A la Dra. María Esther Ortega Cerrilla por su amistad y gran apoyo incondicional.

Al cuerpo académico del Colegio de Postgraduados que me brindó su apoyo y contribuyó en mi formación académica, durante la impartición de sus materias y asesorías.

Al personal administrativo del programa de Ganadería, por ofrecerme su apoyo incondicional durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados, siempre al pendiente.

Al Grupo Biotecap, Tepatitlán, Jalisco, México y al M.C. José Octavio López Rodríguez por la donación del producto Bioways Cromo® utilizado en la presente investigación.

DEDICATORIA

A Dios que lo es todo en la vida, por permitir que haya concluido un ciclo más en mi vida, dándome la salud y la sabiduría necesaria.

A esa mujer que siempre ha estado conmigo desde el primer día de mi vida, por siempre guiarme, aconsejarme, enseñarme con el ejemplo lo bueno y lo malo de esta vida. Por darme los mejores valores, aprendí de ella que si se quiere se puede, siempre haciendo lo correcto, a luchar y trabajar para alcanzar mis propósitos de vida; Te amo Madre.

A mi tío Pedro Hernández Hernández por ser un ejemplo de vida, por estar siempre al pendiente de mí, ser una gran persona y siempre brindarme su apoyo incondicional, formando una parte importante en este ciclo de vida.

A esa persona con la que he compartido parte importante de mi vida, siempre celebrando los triunfos, luchando juntos para superar las adversidades. Por no abandonar nuestros sueños y proyectos de vida, por demostrarme su amor incondicional. Te amo; solo tú y yo conocemos la historia porque los dos la escribimos, que lo nuestro se quede nuestro.

A Ulises De La Calleja Hernández por formar parte de mi vida y por el apoyo brindado, se te quiere hermano. A Mirell De La Calleja Barrera y Julia A. Sánchez Hernández por ser parte importante en mi vida, las amo.

A mis abuelos Julia Hernández Salazar y Pedro Hernández González, por brindarme su amor y apoyo, siempre siendo un ejemplo en mí para luchar y superarme.

A Adelaida Gayosso Gómez y Abundio De La Calleja Torres (D.E.P.) mis abuelos que amo, por su apoyo y cariño en esta vida.

A mis familiares que me han brindado sus buenos deseos y cariño sincero para seguir avanzando en la vida.

Al M.C. Antonio Morgado González por ser un gran amigo incondicional y compañero, siempre compartiendo buenos momentos. A mis grandes amigos Magaly León Herrera, Almadelia Cerezo Cano, Magali Hernández De La Rosa y Rafael Adán Martínez Andrés que a pesar de la distancia y el tiempo, siempre han estado presentes en mi vida.

A aquellos familiares y amigos profesionistas, que fueron un gran apoyo para alcanzar esta meta profesional y personal, con sus sabios consejos inspirando en mí un motivo más de superación.

“Tanto por hacer, tanto por lograr, tantos lugares donde amontonar el optimismo de la voluntad, frente al pesimismo de la inteligencia”.

Denise Dresser

CONTENIDO

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DEDICATORIA	viii
CONTENIDO	ix
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1. Aditivos en la dieta	4
4.2. Características y funciones del Cromo (Cr)	4
4.3. Absorción, transporte y metabolismo del Cr	5
4.4. Excreción del Cr	7
4.5. Principales alimentos como fuentes de Cr	8
4.6. Fuentes de cromo utilizadas en dietas para animales	9
4.7. Cromo-Metionina en dietas de cerdos y su impacto	10
4.8. Aminoácidos y su importancia en la nutrición animal	11
4.9. Digestión y absorción de aminoácidos	13
V. MATERIALES Y MÉTODOS	16
5.1. Localización y clima	16
5.2. Establecimiento del experimento	16
5.3. Dietas experimentales	16
5.4. Descripción de tratamientos	20
5.5. Diseño experimental	20
5.6. Variables a evaluar	21
5.6.1. Respuesta productiva	21

<i>Consumo de Alimento (CAL)</i>	21
<i>Ganancia diaria de peso (GDP)</i>	21
<i>Conversión alimenticia (CA)</i>	21
<i>Ganancia de carne magra (GCM)</i>	21
<i>Porcentaje de carne magra (PCM)</i>	21
5.6.2. Características de la canal	21
5.6.3. Urea en sangre	22
5.6.4. Análisis estadístico	22
VI. RESULTADOS	23
Etapa de Crecimiento.....	23
Finalización II.....	27
Periodo global de engorda	29
VII. DISCUSIÓN	31
VIII. CONCLUSIONES	36
IX. LITERATURA CITADA.....	37

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración de Cr en algunos alimentos para el humano.....	8
Cuadro 2. Concentraciones de Cr en ingredientes (forrajes y subproductos).	9
Cuadro 3. Aminoácidos esenciales, no esenciales y condicionalmente esenciales.....	12
Cuadro 4. Dietas para la etapa de crecimiento (25-50 kg de peso vivo).....	17
Cuadro 5. Dietas para la etapa de finalización I (50-75 kg de peso vivo).	18
Cuadro 6. Dietas para la etapa de finalización II (75-100 kg de peso vivo).	19
Cuadro 7. Comportamiento y características de la canal en etapa de crecimiento.	24
Cuadro 8. Comportamiento productivo y características de la canal en etapa de finalización I.	26
Cuadro 9. Comportamiento productivo y características de la canal en etapa de finalización II.....	28
Cuadro 10. Comportamiento productivo y características de la canal en análisis global. ...	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rutas del catabolismo proteínico relacionado a la microbiota intestinal.....	14
---	----

I. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos el cerdo ha sido utilizado por la humanidad para su alimentación, ya que es una fuente importante de proteínas y grasa; al domesticarse, se le crió de manera extensiva, pero al paso de los años la producción se fue intensificando y tecnificando. La actual demanda creciente del mercado y la preferencia de cortes magros, obliga a seleccionar animales de mejores características de la canal, alta eficiencia productiva y reproductiva (Danura, 2005).

Se prevé que la demanda de carne de cerdo continuará creciendo, por lo que tendrá un efecto directo en el incremento de las necesidades de ingredientes para los animales; con ello, en un futuro las materias primas no serán suficientes para cumplir con los requerimientos de alimento para la producción animal. Por lo tanto, se debe buscar hacer más eficiente la utilización de nutrientes, haciendo un uso adecuado de aditivos en la dieta para la alimentación de los animales (Ravindran, 2010).

Durante casi 60 años, se ha considerado al cromo (Cr) trivalente como un nutriente esencial para el organismo del cerdo, involucrado en el proceso metabólico de biomoléculas como carbohidratos, lípidos, proteínas y aminoácidos (Mertz, 1993; Vincent, 2,000); sin embargo, estudios recientes (Di-Bona *et al.*, 2011), indican que sólo puede considerarse farmacológicamente activo y no como un mineral esencial. Este elemento es un componente activo del Factor de Tolerancia a la Glucosa (FTG), el cual potencializa la función de la insulina, y ocasiona que se haga más eficiente la utilización de la glucosa, por lo tanto, propicia una mejor respuesta productiva del animal al mejorar el aprovechamiento de los nutrientes (Toghyani *et al.*, 2008).

Diversos estudios reportan que, al adicionar fuentes de Cr en las dietas de los cerdos, se mejora la eficiencia productiva, las características de la canal y la calidad de la carne (Page *et al.*, 1993; Xi *et al.*, 2001; Matthews *et al.*, 2003; Güémez-Gaxiola *et al.*, 2011); sin embargo, también existen reportes donde no se han encontrado mejoras en dichas variables (Tang *et al.*, 2001; Lien *et al.*, 2005; y Yao *et al.*, 2015). Existen varios compuestos orgánicos de Cr, en los que la disponibilidad del elemento es mayor, tal es el caso del glicinato crómico, el oxalato crómico y los quelatos trivalentes, como el picolinato de Cr (Page *et al.*, 1993).

Por otro lado, los aminoácidos (AA) son necesarios para el funcionamiento óptimo del organismo; son componentes de las proteínas corporales, de ahí su importancia en la nutrición de cerdos. Los AA se clasifican como esenciales (que no son sintetizados *in vivo*), no esenciales (que son sintetizados por el organismo) (Rezaei *et al.*, 2013) y dentro de estos, los funcionales (favorecen la eficiencia de la utilización de proteínas) (Wang *et al.*, 2008). No obstante, diversas fuentes sugieren que los cerdos no sintetizan cantidades suficientes de aminoácidos no esenciales, lo que podría limitar su rendimiento máximo de crecimiento, desarrollo, lactancia y reproducción (Wu *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 2005; Mateo *et al.*, 2008). Dado que las fuentes proteínicas son de los insumos más caros en la formulación de alimentos, aunado a su complejo proceso de digestión y asimilación, es fundamental el entendimiento y manejo de los niveles de aminoácidos dentro de las dietas (Wu *et al.*, 2010).

Para el cumplimiento de los retos anteriores, se hace necesario optimizar el aprovechamiento de los insumos en la formulación de las dietas de los cerdos, de ahí que el uso de Cr en forma orgánica en combinación con fuentes de aminoácidos, pueden mejorar los procesos productivos en la engorda de cerdos. Morales *et al.* (2015), sugieren que la adición extraordinaria de aminoácidos optimiza el aprovechamiento de la proteína cruda (PC) sin afectar las variables productivas. Aunado a lo anterior, Ohh y Lee, (2005) mencionan que el Cr, al estar en contacto con aminoácidos, tiende a formar quelatos con los mismos, lo que le permite moverse y cruzar de manera directa la membrana celular intestinal y metabolizarse sin ninguna digestión previa, lo que finaliza en una mayor biodisponibilidad este elemento mineral. Esto indicaría la necesidad de aumentar la concentración de AA en dietas adicionadas con Cr como promotor del crecimiento para cerdos.

Por lo anterior, es necesario seguir evaluando la eficiencia del Cr y su interacción con diferentes niveles de AA en la dieta; por lo que el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de Cr, en forma de CrMet, a dietas para cerdos en engorda y su interacción con distintos niveles de AA, sobre el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de nitrógeno ureico en plasma.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de CrMet y diferentes niveles de aminoácidos en el comportamiento productivo, características de la canal en dietas para cerdos en engorda y concentración de nitrógeno uréico en plasma.

2.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el efecto de dietas suplementadas con CrMet y diferentes niveles de aminoácidos, sobre el comportamiento productivo de cerdos.
2. Medir el efecto de CrMet y los diferentes niveles de aminoácidos sobre las características de la canal.
3. Evaluar el efecto de CrMet y diferentes porcentajes de aminoácidos sobre la concentración de urea plasmática.

III. HIPÓTESIS

La adición de CrMet en dietas con mayor concentración de aminoácidos para cerdos en engorda, mejora las variables productivas y las características de la canal y disminuye la concentración de urea en plasma.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Aditivos en la dieta

La Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (2010) y en base al reglamento europeo (1831/2003), define los aditivos para dietas como sustancias, microorganismos y preparados, diferentes de las materias primas, que se añaden a las dietas o al agua para causar un efecto favorable en las características de las dietas o de los productos de origen animal; disminuir las consecuencias ambientales debido a la explotación pecuaria; mejora en el bienestar, la salud, los rendimientos productivos, por su influencia en la flora microbiana intestinal o la digestibilidad de los alimentos, y por su efecto histomonostático o coccidiostático.

Al agruparlos en función de sus propiedades y funciones, puede agruparse como: a) aditivos tecnológicos (antioxidantes, emulsificantes o acidificantes), b) sensoriales (aromas y pigmentos), c) nutricionales (vitaminas, minerales traza y aminoácidos), d) zootécnicos (potenciadores de la digestión y estabilizadores de la flora intestinal) y e) coccidiostatos o histomonostatos.

El CrMet se considera como un aditivo nutricional, como mineral orgánico unido al aminoácido metionina.

4.2. Características y funciones del Cromo (Cr)

El Cromo es un elemento natural presente en rocas, animales, plantas y suelo; se encuentra en el ambiente. La concentración promedio en el suelo es de $250 \mu\text{g kg}^{-1}$ como cromita, de 100 a $500 \mu\text{g kg}^{-1}$ en las plantas y en los alimentos la concentración va de 20 a $590 \mu\text{g kg}^{-1}$. En cuanto a la clasificación por abundancia en la corteza terrestre, es el número 21 (Jeejeebhoy, 1999). El elemento químico fue descubierto por Vaquelin en 1979, su símbolo es Cr, su número atómico es 24, su peso atómico 51.996; metal de color blanco plateado, duro y quebradizo (Alvarado *et al.*, 2002).

Las formas más comunes del Cr dependen de su nivel de oxidación y valencia: el divalente (2^+), el trivalente (3^+) y el hexavalente (6^+) son las más importantes en el ambiente y los productos comerciales. El Cr trivalente es el que predomina en la naturaleza y es el estado más estable; el hexavalente es un agente oxidante fuerte que se reduce a trivalente en

un ambiente ácido como el estómago (Lukaski, 1999). Según Anderson (1997) el Cr^{3+} es el estado con más estabilidad química en la mayoría de los materiales biológicos, ya que se encuentra asociado fuertemente con proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes del organismo; esta forma es la que se utiliza con fines nutricionales.

Considerado desde hace 50 años como esencial en humanos y animales, tiene importancia en el funcionamiento de la insulina, ya que interviene en el metabolismo de carbohidratos, proteínas y lípidos (Mertz, 1993; Vincent, 2,000). Sin embargo, Di *et al.* (2011) reportaron que, en un experimento con ratas macho Zucker, no hubo diferencia significativa en la condición corporal, cuando los tratamientos fueron dietas purificadas para tener la mínima concentración de Cr y dietas con concentraciones altas en Cr. Al coincidir con otros resultados similares, concluyeron que el cromo no es un elemento esencial. También observaron que la cantidad de insulina fue más baja en ratas que recibieron dietas con Cr, por lo que confirmaron su intervención en el metabolismo de la glucosa.

Bioquímicamente la función específica del Cr no es muy clara, mediante investigaciones realizadas se descubrió que está muy relacionada con la función de la insulina y la utilización de la glucosa. El factor de tolerancia a la glucosa (FTG) se dice que es la forma biológicamente activa del Cr; ha sido propuesto como un complejo de Cr, glicina, cisteína, ácido glutámico y ácido nicotínico (Bunting, 1999).

Jeejeebhoy (1999) menciona que el cromo trivalente se utiliza en humanos y animales con diferente propósito. Su uso últimamente ha sido muy difundido, generando controversias en el medio científico por su papel como nutriente, su uso terapéutico y su toxicidad.

4.3. Absorción, transporte y metabolismo del Cr

La absorción del cromo puede ser por vía respiratoria, cutánea y digestiva. La absorción del cromo en la luz intestinal del yeyuno es baja tanto en humanos como en animales, va desde 0.5% a 2% dependiendo de la ingesta en la dieta. El sobrante es excretado en heces, orina y bilis; la excreción normal por la orina es de 0.05-0.5 $\mu\text{g día}^{-1}$. El mecanismo de absorción no es bien conocido en su totalidad; se supone que es por difusión o por una proteína transportadora. Posteriormente a la absorción, el Cr circula en plasma a una

concentración de 0.01 a 0.3 g L⁻¹, unido a la transferrina y cuando ésta se satura se une a la albúmina. Debido a la unión del cromo con la transferrina, este tiene una función importante en el transporte del hierro (Anderson, 1998; Vincent, 2,000). Hay varios factores que intervienen en la absorción de Cr, pueden ser niveles, fuentes y estados en el sistema gastrointestinal. Como bien se sabe, las fuentes orgánicas tienen mayor biodisponibilidad que las fuentes inorgánicas (NRC, 1998).

El Cr es distribuido y almacenado en varios tejidos, teniendo mayor concentración en hígado, riñones, músculo y epidídimo, al igual se encuentra en el bazo y tejido óseo (Cefalu y Hu, 2004). Su absorción se ve limitada por la presencia de fitatos y durante la vejez (Dattilo y Miguel, 2003; Lukaski, 1999); el consumo de oxalato, ácido nicotínico y ascórbico favorece su absorción y también cuando hay deficiencia de zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe) y calcio (Ca) (Nielsen, 1984; Lukaski, 1999).

Existe diversos factores que afectan la absorción de cromo, tal es el caso del bajo consumo de materia seca, baja concentración de cromo bioactivo en los alimentos, alimentos deficientes en cromo, niveles elevados de Fe y Zn, baja cantidad y tipo de aminoácidos en la dieta, bajo contenido de niacina en la dieta, elevada cantidad de sustancias amortiguadoras (buffers) en la dieta, niveles bajos de ácido ascórbico y la edad. Por otra parte, los factores que pueden causar su perdidas, son el consumo de dietas con elevadas concentraciones de azúcares simples, lactosa, propionato, nitrógeno no proteínico y grasa, el estrés calórico (durante mercadeo y transporte, entre otros), la preñez y lactancia, el ejercicio agudo, daños fisiológicos o sanitarios y la obesidad (Mowat, 1997).

Vincent (2,000) propuso un modelo detallado de la función de la cromodulina o FTG, en el sistema de autoamplificación de la señal de la insulina. Se presume que la apocromodulina (oligopéptido de bajo peso molecular, complejo de cromo, glicina, cisteína, ácido glutámico y ácido nicotínico) está almacenada en el citosol y núcleo de las células sensibles a la insulina. Al haber un aumento de insulina en la circulación sanguínea, se desencadenan dos reacciones importantes:

- a) Se da una alta movilización de cromo, en las células blanco, mediada por la transferrina.

b) La estimulación de los receptores de la transferrina, que con ayuda de vesículas intracelulares son transportados hacia la cara interna de la membrana para fusionarse con ésta.

Vincent (2013), sugiere que la transferrina saturada con Cr se une a sus respectivos receptores y el complejo formado es transportado al interior de la célula por fagocitosis. Dadas las condiciones del espacio intravesicular con un pH ácido, provoca la digestión del complejo, liberando al cromo en el citosol. Al liberarse se unen cuatro moléculas de Cr (3+) a la apocromodulina, pasando a su forma activa como cromodulina (sustancia con peso molecular de casi 1,500 Daltons) y pasa a unirse al sitio activo del receptor de la insulina, completando la activación y amplificación de la señal de la insulina.

Al haber un déficit de cromo, el receptor no puede unirse a la insulina, por lo que hay un aumento de la concentración de glucosa en sangre, lo que estimula la liberación de más insulina para poder nivelar la concentración de ésta (Debski *et al.*, 2004).

El Cr, además de ser un factor importante en el metabolismo de carbohidratos, también participa en el metabolismo de proteínas por medio de la estimulación de las células para la captación de aminoácidos (Kreider, 1999). Después de la absorción del Cr a nivel intestinal este se une a una proteína en el núcleo de la célula en el hígado, participa en la síntesis de ARN y controla la formación de células hepáticas; al acumularse en el núcleo se induce la síntesis proteínica, al unirse a la proteína activa la cromatina nuclear y en consecuencia incrementa la síntesis del ARN nuclear (Okada *et al.*, 1989). Según Lindemann *et al.*, (1995) el Cr funciona como protector para el ARN evitando su desnaturalización y se cree que puede participar en el mantenimiento de la estructura terciaria de los ácidos nucleicos. Esto puede explicar los resultados de un experimento con ratas, donde una deficiencia de Cr en la dieta, dificultó la capacidad para incorporar aminoácidos en proteínas (Mertz, 1987).

4.4. Excreción del Cr

La excreción del Cr absorbido se da principalmente por filtración glomerular o unido a un transportador orgánico de bajo peso molecular, pero también una pequeña cantidad es eliminada en el pelo, la transpiración y la bilis (Ducros, 1992). La excreción mediante la orina puede incrementarse en situaciones de estrés, después de la aplicación de insulina,

ejercicio, traumatismo o al ingerir una dieta rica en carbohidratos y azúcares simples (Jeejeebhoy, 1999; Pechova y Pavlata, 2007). El cromo no absorbido a nivel intestinal, es excretado en las heces (Vincent, 2004).

4.5. Principales alimentos como fuentes de Cr

El ser humano puede obtener el Cr a través de alimentos ricos en este elemento mineral, ya que la mayoría de los alimentos frescos lo contienen. Otras fuentes ricas en Cr son: la yema de huevo, carne, levadura de cerveza, productos de granos integrales, cereales, café, nueces, frijol y brócoli (Cefalu y Hu, 2004). En el Cuadro 1, se muestra una lista de alimentos comunes para el ser humano y la cantidad de Cr presente en ellos.

Cuadro 1. Concentración de Cr en algunos alimentos para el humano.

Alimento	Contenido de cromo ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Frijol	69.60
Carne	53.60
Huevo	69.50
Tortilla de maíz	45.90
Leche	89.20
Azúcar	2.00
Tortilla de Trigo	27.70
Café	99.30
Papas	52.90
Tomate	94.00
Sodas	99.80
Pan de trigo	31.40
Queso fresco	59.00
Sopa de pasta	77.70
Arroz	72.60
Naranja	86.30
Lechuga	94.90
Plátano	74.30

Fuente: Grijalva *et al.*, 2001.

Las harinas de carne, así, como forrajes de corte, contienen mayor cantidad de cromo que los granos y proteínas vegetales. En el ensilado de maíz, las cantidades de cromo son más altas, pero su digestibilidad suele ser baja; se puede deber a que la mayor parte del contenido de cromo se da por contaminación, al entrar en contacto con la maquinaria al ser procesado; el cromo hexavalente es el que se obtiene, pero, como se menciona

anteriormente, es indigestible para el organismo, por tanto, no puede ser aprovechado (Bunting, 1999). En el Cuadro 2 se muestra el contenido de cromo de los principales ingredientes utilizados en la alimentación animal.

Cuadro 2. Concentraciones de Cr en ingredientes (forrajes y subproductos).

Alimento	Cr mg kg⁻¹
Alfalfa deshidratada	0.20
Ensilado de maíz	2.03
Pasto centeno	0.44
Cebada	0.83
Maíz	0.91
Salvado de trigo	0.63
Harina de carne	0.80
Harina de pescado	0.63
Harina de soya	0.15
Levadura de cerveza	1.00

Fuente: Mowat, 1997.

4.6. Fuentes de cromo utilizadas en dietas para animales

Dentro de las fuentes de Cr orgánico que se adicionan a las dietas se encuentran las siguientes: levadura de cerveza, levadura de Cr, picolinato de Cr, nicotinato de Cr, quelatado de Cr con aminoácidos y proteinato de Cr. De éstas, la fuente natural de cromo es la levadura de cerveza, con un contenido de 1 a 2 mg kg⁻¹ (MS), del cual, biológicamente activo sólo es la mitad (Mowat 1997). Evans (1989) menciona que los compuestos bioactivos sintetizados, como el picolinato de Cr, nicotinato de Cr y quelatos de Cr con aminoácidos, son de mayor pureza y consistencia, a diferencia de la levadura de Cr. La fuente que más se ha utilizado en experimentos es el picolinato de Cr, que está compuesto por tres moléculas de ácido picolínico unidas al Cr, dando como resultado una mejor absorción y transporte intestinal del Cr, entre otros minerales, por su capacidad de formar quelatos (Lindemann *et al.*, 1995).

El quelato es un complejo formado entre un ion metálico y un ligante (agente quelatante); el ligante debe contener grupos funcionales que sean capaces de donar un par de electrones para así poderse combinar mediante un enlace covalente con un metal. Las fuentes orgánicas existentes son: picolinato de cromo (Pic-Cr), cromo niacina (Cr-Niac), cromo levadura (Cr-Lev) y cromo metionina (CrMet) (Langwinsky y Patino, 2002).

Se han estudiado varias formas de agregar el cromo a dietas para animales en producción. Bunting *et al.* (1994) y Jeejeebhoy (1999) reportaron que la forma química del cromo influyó en los resultados en un estudio con cerdos, la forma orgánica fue la de mejor desempeño en comparación con la inorgánica. La falta de una respuesta consistente puede estar relacionada con los niveles de Cr de las dietas, la forma de Cr, el estado de Cr de los cerdos y los niveles de aminoácidos de la dieta (Lindemann, 2007).

Las fuentes orgánicas son mejor absorbidas que las inorgánicas (como el óxido y el cloruro de Cr), debido a su baja o casi nula absorción y actividad biológica, por lo que son utilizados en estudios como marcadores digestivos. El cromo trivalente orgánico es 50 veces más activo biológicamente que el cromo trivalente inorgánico (McDowell, 1992). Dichas diferencias biológicas se podrían explicar por la mayor rapidez con que se absorbe el cromo orgánico. Las respuestas a la suplementación con Cr de las dietas animales han sido altamente variables; se han evaluado varias fuentes de Cr en animales que incluyen cloruro de Cr, picolinato de Cr, propionato de Cr, levadura de Cr, nicotinato de Cr, quelato de aminoácido de Cr y nanopartículas de Cr, todas estas, han producido respuestas positivas en animales en uno o más estudios (Spears, 2019).

4.7. Cromo-Metionina en dietas de cerdos y su impacto

Lindemann y Lu (2019), mencionan que desde 1990 se ha incrementado el número de estudios que reportan el uso de fuentes orgánicas de cromo en la suplementación de dietas; las fuentes más comunes son el Pic-Cr, Cr-Niac, y cloruro de cromo (CrCl_3), mientras que las investigaciones que reportan el uso de CrMet son menos comunes. Ohh y Lee (2005) sugieren que la CrMet en forma quelatada cruza directamente la membrana celular del intestino y se metaboliza sin ninguna digestión previa; lo que podría deberse a que se encuentra quelatada con aminoácidos; lo que sugiere su rápida biodisponibilidad para formar otros compuestos orgánicos.

Se ha demostrado que la CrMet tiene efectos benéficos sobre el crecimiento de cerdos y diversos parámetros productivos, además de las características de la canal y la calidad de la carne (Park *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2013). Yao *et al.* (2014) investigaron la suplementación CrMet en dietas para cerdos, y encontraron que no afecta parámetros de crecimiento y además, disminuyó los niveles de glucosa en plasma, así como los niveles de la hormona

del crecimiento (GH), que se redujo de manera significativa, y las concentraciones séricas del factor de crecimiento tipo insulínico I (IGF-I) disminuyen de manera lineal al incrementar las concentraciones de Cr. Las concentraciones séricas de inmunoglobulina A, G y M aumentaron linealmente con el aumento de la dosis de Cr, y los cerdos alimentados con $400 \mu\text{g kg}^{-1}$ de Cr tuvieron mayores contenidos de inmunoglobulina M en suero.

De manera general, estudios de los últimos 20 años que evalúan el efecto de la CrMet como suplemento de dietas para cerdos sugieren una mejora en la ganancia de peso de los animales y por tanto, incrementan la eficiencia alimenticia (Mooney y Cromwell, 1995); además se favorecen las características de la canal (Jackson *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2009), la calidad de la carne (Li *et al.*, 2013) y el sistema inmune del cerdo (Tian *et al.*, 2014).

4.8. Aminoácidos y su importancia en la nutrición animal

Los aminoácidos (AA) conforman a las proteínas tisulares y son sustratos esenciales para la síntesis de muchas sustancias de bajo peso molecular (poliaminas, glutatión, creatina, carnitina, carnosina, hormonas tiroideas, serotonina, melanina, melatonina y hemo) con enorme importancia fisiológica (Blachier *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012). Son 20 AA necesarios para el funcionamiento óptimo del metabolismo; clasificados como dietéticos esenciales (que no son sintetizados *in vivo*), y no esenciales (que son sintetizados por el organismo) (NRC, 2012; Rezaei *et al.*, 2013). Asimismo, también se consideran como AA funcionales ya que favorecen la eficiencia de la utilización de proteínas y pueden regular las vías metabólicas importantes para mejor la salud, el crecimiento, el desarrollo y la reproducción de los animales. Los AA y sus metabolitos derivados pueden intervenir en la señalización celular, en las rutas metabólicas pueden incluir síntesis de proteínas, procesos antioxidantes y oxidación de moléculas energéticas. Los AA funcionales pueden ser esenciales o no esenciales (Wang *et al.*, 2008).

Los AA también se han clasificado como nutricionalmente esenciales, en base del crecimiento o balance de nitrógeno en los organismos (Stipanuk *et al.*, 2009; Suryawan *et al.*, 2009) y estos pueden ser esenciales o no esenciales, aunque se ha prestado poca atención a la composición dietética completa de aminoácidos no esenciales (Wu *et al.*, 2010; Yin *et al.*, 2009), ya que estos, desempeñan funciones fundamentales en el metabolismo del cuerpo del animal (Burrin y Reeds 1997; Blachier *et al.*, 2009; Haynes *et*

al., 2009; Li *et al.*, 2009). Para los cerdos, los aminoácidos no esenciales son la alanina, arginina, asparagina, aspartato, cisteína, glutamato, glutamina, glicina, prolina, serina y tirosina (Elango *et al.*, 2009; Wu, 2009). Durante mucho tiempo, la investigación sobre la nutrición de proteínas se ha centrado en la composición dietética de AA esenciales, cuyos esqueletos de carbono, no se sintetizan en las células animales (NRC, 1998)

Reeds (2000) asegura que se pueden sintetizar varios AA esenciales a partir de precursores estructuralmente muy similares a estos, al utilizar la definición metabólica restrictiva para clasificar a los AA esenciales según la capacidad del organismo para su síntesis endógena; dentro de estos se encuentra la metionina (que se puede sintetizar por transaminación de su análogo cetoácido o por remetilación de homocisteína), leucina, isoleucina, valina y fenilalanina (que pueden sintetizarse a partir de cetoácidos de cadena ramificada). Dada la definición anterior, los AA únicamente esenciales serían la treonina, lisina y triptófano. Otro grupo son los AA verdaderamente no esenciales, que son aquellos que se pueden sintetizar a partir de una fuente de nitrógeno no proveniente de AA, como son los iones de amonio, y una fuente de carbono de un α -cetoácido; los únicos aminoácidos que pertenecen a este grupo son el ácido glutámico y la serina. En el Cuadro 3 se muestra la clasificación fundamental de los AA.

Cuadro 3. Aminoácidos esenciales, no esenciales y condicionalmente esenciales.

Esenciales	No esenciales	Condicionalmente esenciales
Histidina	Alanina	Arginina
Isoleucina	Asparagina	Cisteína
Leucina	Aspartato	Glutamina
Lisina	Glutamato	Prolina
Metionina	Glicina	Tirosina
Fenilalanina	Serina	
Treonina		
Triptófano		

Fuente: Li *et al.*, 2009.

Los requerimientos de AA dietéticos dependen de la especie, la etapa de desarrollo, el estado fisiológico, la microbiota del intestino delgado, los factores ambientales y los estados patológicos (Dai *et al.*, 2011 y Wu *et al.* 2013).

4.9. Digestión y absorción de aminoácidos

La digestión de proteínas comienza en el estómago; ahí, la proteólisis se inicia por dos tipos de pepsinas, que son las principales proteasas gástricas que se activan de manera autocatalítica a partir de precursores (zimógeno) en un ambiente con pH ácido. La degradación de las proteínas da como resultado una mezcla de polipéptidos grandes, oligopéptidos más pequeños y algunos aminoácidos libres. Estos influyen para que se desencadene una serie de funciones gástricas bajo control hormonal, como la secreción de ácido clorhídrico y pepsinógeno, el ritmo del vaciado gástrico y el control del esfínter pilórico (Freeman y Kim, 1978; Van-Dyke, 1989).

En el intestino delgado, la fase pancreática de la digestión de proteínas es importante, ya que convierte a la proteína ingerida en una mezcla de pequeños oligopéptidos y AA libres con ayuda de enzimas proteolíticas sintetizadas y liberadas por células acinares pancreáticas como zimógenos (precursores) inactivos. Estos se activan como enzimas en el duodeno, donde el aumento del pH a condiciones neutras o ligeramente alcalinas inactiva a las pepsinas gástricas. La enteropeptidasa activa a las proenzimas pancreáticas: es una enzima relacionada con la membrana del borde en cepillo y se localiza en los enterocitos duodenales. La activación de la tripsina es el proceso inicial primordial, lo que desencadena una serie de eventos proteolíticos de donde resultan activadas la tripsina, quimiotripsina, elastasa y carboxipeptidasas A y B (Rinderknecht, 1986).

La microbiota intestinal desempeña una función crucial para facilitar la regulación del conjunto y perfil de AA a lo largo de la digestión y absorción de AA, al realizar un estudio para determinar la eficiencia de la descomposición de las proteínas, antes de la absorción de AA en el intestino, se sugiere que existen especies bacterianas importantes que residen en el colon, fundamentales para la fermentación de proteínas y AA; específicamente, las del género *Clostridium* en el intestino grueso (importantes para la utilización de lisina o prolina) son clave para la fermentación de AA: las bacterias del género *Peptostreptococcus*, que son impulsores clave del uso de glutamato o triptófano. Sin embargo, es importante destacar que diversas especies pueden desempeñar un papel destacado en el metabolismo de los aminoácidos en el intestino grueso, como las bacterias de los géneros

Fusobacterium, *Bacteroides* y *Veillonella* y las especies *Megasphaera elsdenii* y *Selenomonas ruminantium* (Dai *et al.*, 2011; Mardinoglu *et al.*, 2015).

A continuación (Figura 1), se describe la ruta de catabolismo proteínico relacionado a la microbiota intestinal propuesta por Duncan *et al* (2007).

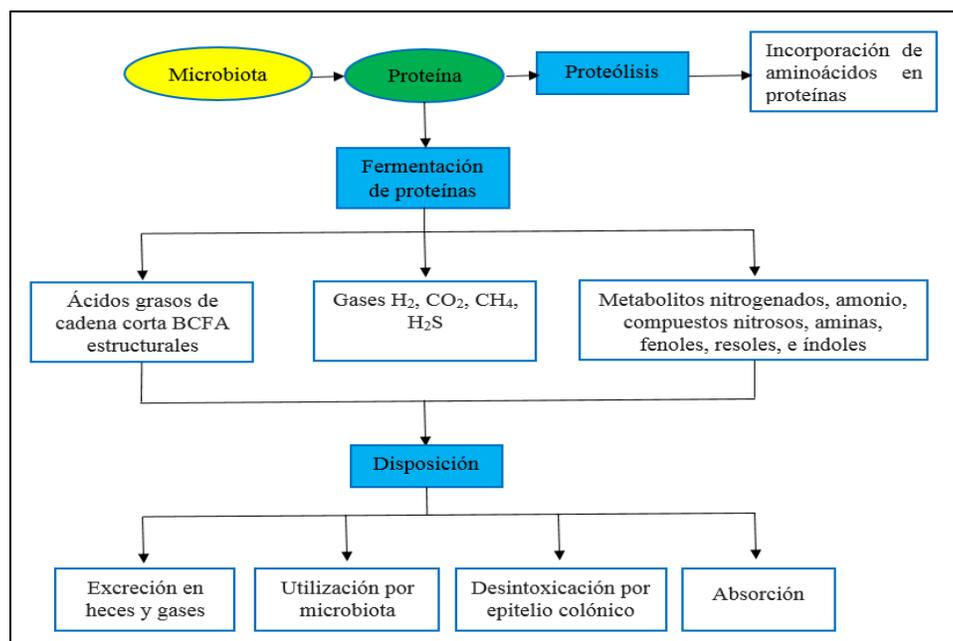


Figura 1. Rutas del catabolismo proteínico relacionado a la microbiota intestinal.

Para transformar las proteínas de las dietas en proteínas de tejidos, se requieren procesos bioquímicos y fisiológicos complejos. En estos eventos, se incluye a la digestión la absorción y el metabolismo de los AA, que involucran enterocitos, la microbiota en el intestino delgado, el lecho esplácnico, los órganos digestivos y la cooperación interorganizada a través de múltiples vías de señalización (Wu, 2009). Estos procesos complejos conforman los elementos para la utilización dinámica de los AA esenciales y no esenciales; excepto por el glutamato, la glutamina y el aspartato que se degradan ampliamente en el intestino delgado; en cuanto a los AA dietéticos, son utilizados principalmente para la acumulación de proteínas en cerdos jóvenes y se ha estimado que del 10 al 40% de los AA integrados en las dietas de cerdos y que ingresan a la circulación, son degradados en los tejidos extraintestinales (Wu *et al.*, 2009)

Los di y tripéptidos resultantes de la acción de las peptidasas sobre los oligopéptidos (compuestos por seis o menos aminoácidos), son transportados al enterocito por un sólo

transportador de H⁺. En el enterocito, las peptidasas citosólicas primarias los hidrolizan convirtiéndolos en AA libres, o se transportan por la membrana basolateral. Por otro lado, los AA libres son transportados por diversos transportadores dependientes e independientes de hierro; también son hidrolizados por una variedad de peptidasas citosólicas. Los AA citosólicos pueden ser utilizados como sustrato energético, se pueden unir a la proteína constitutiva o pueden transportarse a través de la membrana basolateral hacia la sangre (Rezaei *et al.*, 2013).

Los AA, en sus diferentes formas y medios de absorción, llegan a la circulación portal hepática. Al igual que las diferentes formas de transporte antes mencionadas, es indispensable mencionar que la contribución potencial de la absorción de AA por difusión simple transmembranal no específica y el flujo paracelular, deben ser de importancia nutricional. En la digestión y absorción de AA, se dan diferentes eventos en el proceso como: digestión gástrica, luminal, glicocálix en la membrana apical e hidrolítica intracelular, así como eventos de absorción regulados por la membrana apical y basolateral de péptidos y AA libres por proteínas transportadoras específicas. Existen diferencias en la anatomía del tracto digestivo entre las especies pecuarias, sin embargo, la expresión de enzimas, transportadores y la actividad de los tejidos involucrados es muy similar. Las enzimas y los transportadores responsables de la digestión y la absorción, probablemente se han adaptado a la naturaleza del alimento (sustrato) más que al tipo de animal (Lassiter y Edwards, 1982).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización y clima

El presente estudio se realizó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en Montecillo, Texcoco, Estado de México, localizada a 19° 48' 23" LN y 98° 48' 27" LO, una altitud de 2,241 msnm, el clima de la región es templado subhúmedo con lluvias en verano; e invernales inferiores al 5%, precipitación acumulada anual de 644.8 mm, y una temperatura promedio de 15.2 °C (García, 2004).

5.2. Establecimiento del experimento

El experimento se realizó con 42 cerdos, 21 machos y 21 hembras de la cruce Landrace-Yorkshire×Pietrain-Duroc, en tres etapas de la engorda delimitándolas por el peso inicial (crecimiento 25.0 ± 3.0 kg, finalización I 50.0 ± 3.0 kg y finalización II 75.0 ± 3.0 kg de peso vivo). Los animales se alojaron en corrales individuales de herrería (1.50×1.20 m), con piso firme, cubierto parcialmente con *slat* de plástico, un comedero metálico tipo tolva con una boca, bebedero de chupón y una lámpara incandescente de 150 W. El sistema de ventilación de la nave fue manual con cortinas de lona. El manejo de los animales fue de acuerdo con las recomendaciones del Consejo Internacional de las Organizaciones de las Ciencias Médicas (CIOMS, 2001), plasmadas en la Guía Biomédica Internacional de Principios para el Uso de Animales en Investigación; así como las Especificaciones Técnicas para la Producción, Cuidado y Uso de los Animales de Laboratorio de la Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1999, 2001).

5.3. Dietas experimentales

Los cerdos fueron alimentados con dietas a base de maíz y pasta de soya para la etapa de crecimiento, y con sorgo y pasta de soya para las etapas de finalización I y II, formuladas con el comando *Solver* (Microsoft Excel, 2016), de acuerdo con los requerimientos sugeridos por el *National Research Council* (NRC, 2012), que son especificadas en los Cuadros 4, 5 y 6.

Cuadro 4. Dietas para la etapa de crecimiento (25-50 kg de peso vivo).

Ingrediente/%	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Maíz	68.45	68.37	63.71	63.63	58.97	58.89
Pasta de soya (43.9%)	26.30	26.32	31.16	31.18	36.02	36.04
Aceite de soya	0.77	0.80	0.73	0.76	0.69	0.72
Premezcla de vitaminas [†]	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Premezcla de minerales [∨]	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Biolys (L-Lisina HCl 54.6%)	0.39	0.39	0.37	0.37	0.35	0.35
DL-Metionina (99%)	0.05	0.05	0.07	0.07	0.08	0.08
L-Triptófano (98%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L-Treonina (98.5%)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Metionina de Cromo (2,000 ppm)	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04
Secuestrante de micotoxinas	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Colina herbal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Carbonato de Calcio (38%)	0.53	0.53	0.51	0.51	0.49	0.49
Ortofosfato (22%)	2.15	2.15	2.10	2.10	2.05	2.05
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Aporte nutricional/%						
Energía metabolizable Mcal kg ⁻¹	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
Proteína cruda	17.57	17.60	19.31	19.33	21.04	21.07
Lisina	0.98	0.98	1.08	1.08	1.18	1.18
Metionina	0.30	0.31	0.33	0.35	0.36	0.38
Cistina	0.25	0.25	0.27	0.27	0.30	0.30
Metionina + Cistina	0.55	0.55	0.61	0.61	0.66	0.66
Triptófano	0.17	0.17	0.20	0.20	0.22	0.22
Treonina	0.59	0.59	0.65	0.65	0.71	0.71
Valina	0.64	0.64	0.70	0.70	0.77	0.77
Arginina	0.99	0.99	1.12	1.12	1.24	1.24
Fenilalanina	0.74	0.74	0.82	0.82	0.90	0.90
Histidina	0.42	0.42	0.46	0.46	0.51	0.51
Leucina	1.35	1.35	1.45	1.45	1.56	1.56
Isoleucina	0.61	0.61	0.68	0.68	0.76	0.76
Calcio	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
Fósforo	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Potasio	0.74	0.74	0.82	0.82	0.90	0.90
Sodio	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Cloro	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25

[†]Cada kg aportó 5.0×10⁶ UI de vitamina A, 1.0×10⁶ UI de vitamina D3 y 2.0×10⁴ UI de vitamina E; 2 g de vitamina K3, 1 g de tiamina, 5 g de riboflavina, 2 g de piridoxina, 15 g de D-Pantotenato de calcio, 3 g de ácido fólico, 225 de cloruro de colina, 0.3 g de antioxidante; 15 mg de vitamina B12 y 180 mg de vitamina H-Biotina. REKA ® Lapis Nutricional Animal.

[∨]Cada 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 Nutricional Animal.

Cuadro 5. Dietas para la etapa de finalización I (50-75 kg de peso vivo).

Ingrediente/%	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Sorgo	72.00	71.96	68.40	68.36	67.23	67.19
Pasta de soya (43.9%)	23.29	23.29	26.32	26.32	27.30	27.30
Premezcla de vitaminas [†]	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Premezcla de minerales [‡]	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Biolys (L-Lisina HCl 54.6%)	0.33	0.33	0.36	0.36	0.47	0.47
DL-Metionina (99%)	0.04	0.04	0.07	0.07	0.11	0.11
L-Treonina (98.5%)	0.02	0.02	0.03	0.03	0.07	0.07
Metionina de Cromo (2,000 ppm)	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04
Secuestrante de micotoxinas	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Colina herbal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Carbonato de Calcio (38%)	1.79	1.79	2.29	2.29	2.28	2.28
Ortofosfato (22%)	1.24	1.24	1.24	1.24	1.25	1.25
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Aporte nutricional/%

Energía metabolizable Mcal kg ⁻¹	3.35	3.35	3.32	3.32	3.32	3.32
Proteína cruda	17.26	17.26	18.31	18.31	18.77	18.77
Lisina	0.85	0.85	0.93	0.93	1.02	1.02
Metionina	0.26	0.26	0.30	0.30	0.34	0.34
Cistina	0.22	0.22	0.23	0.23	0.24	0.24
Metionina + Cistina	0.48	0.48	0.53	0.53	0.58	0.58
Triptófano	0.16	0.16	0.18	0.18	0.18	0.18
Treonina	0.52	0.52	0.57	0.57	0.62	0.62
Valina	0.63	0.63	0.67	0.67	0.68	0.68
Arginina	0.89	0.89	0.97	0.97	0.99	0.99
Fenilalanina	0.74	0.74	0.79	0.79	0.80	0.80
Histidina	0.36	0.36	0.39	0.39	0.40	0.40
Leucina	1.41	1.41	1.46	1.46	1.48	1.48
Isoleucina	0.60	0.60	0.65	0.65	0.66	0.66
Calcio	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20
Fósforo	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Potasio	0.71	0.71	0.76	0.76	0.77	0.77
Sodio	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Cloro	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28

[†]Cada kg aportó 5.0×10⁶ UI de vitamina A, 1.0×10⁶ UI de vitamina D3 y 2.0×10⁴ UI de vitamina E; 2 g de vitamina K3, 1 g de tiamina, 5 g de riboflavina, 2 g de piridoxina, 15 g de D-Pantotenato de calcio, 3 g de ácido fólico, 225 de cloruro de colina, 0.3 g de antioxidante; 15 mg de vitamina B12 y 180 mg de vitamina H-Biotina. REKA ® Lapisa Nutricional Animal.

[‡]Cada 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 Nutricional Animal.

Cuadro 6. Dietas para la etapa de finalización II (75-100 kg de peso vivo).

Ingrediente/%	Tratamiento					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Sorgo	84.48	84.44	81.04	81.00	77.29	77.25
Pasta de soya (43.9%)	11.30	11.30	14.77	14.77	18.58	18.58
Premezcla de vitaminas [†]	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Premezcla de minerales [‡]	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Sal	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Biolys (L-Lisina HCl 54.6%)	0.61	0.61	0.59	0.59	0.57	0.57
DL-Metionina (99%)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11
L-Triptófano (98%)	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
L-Treonina (98.5%)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Metionina de Cromo (2,000 ppm)	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.04
Secuestrante de micotoxinas	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Colina herbal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Carbonato de Calcio (38%)	1.21	1.21	1.18	1.18	1.15	1.15
Ortofosfato (22%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Aporte nutricional/%						
Energía metabolizable Mcal kg ⁻¹	3.40	3.40	3.40	3.40	3.39	3.39
Proteína cruda	13.50	13.50	14.70	14.70	16.00	16.00
Lisina	0.73	0.73	0.80	0.80	0.88	0.88
Metionina	0.25	0.25	0.28	0.28	0.30	0.30
Cistina	0.17	0.17	0.18	0.18	0.20	0.20
Metionina + Cistina	0.42	0.42	0.46	0.46	0.50	0.50
Triptófano	0.13	0.13	0.14	0.14	0.16	0.16
Treonina	0.46	0.46	0.51	0.51	0.55	0.55
Valina	0.48	0.48	0.53	0.53	0.58	0.58
Arginina	0.58	0.58	0.67	0.67	0.77	0.77
Fenilalanina	0.56	0.56	0.61	0.61	0.67	0.67
Histidina	0.25	0.25	0.29	0.29	0.32	0.32
Leucina	1.18	1.18	1.25	1.25	1.33	1.33
Isoleucina	0.43	0.43	0.48	0.48	0.54	0.54
Calcio	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fósforo	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
Potasio	0.52	0.52	0.58	0.58	0.64	0.64
Sodio	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Cloro	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23

[†]Cada kg aportó 5.0×10⁶ UI de vitamina A, 1.0×10⁶ UI de vitamina D3 y 2.0×10⁴ UI de vitamina E; 2 g de vitamina K3, 1 g de tiamina, 5 g de riboflavina, 2 g de piridoxina, 15 g de D-Pantotenato de calcio, 3 g de ácido fólico, 225 de cloruro de colina, 0.3 g de antioxidante; 15 mg de vitamina B12 y 180 mg de vitamina H-Biotina. REKA ® Lapisa Nutricional Animal.

[‡]Cada 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 Nutricional Animal.

5.4. Descripción de tratamientos

Se plantearon seis tratamientos por etapa productiva (Cuadros 4, 5 y 6): dos niveles de CrMet (0 y 2,000 ppm) con el producto comercial Bioways Cromo® que en su ficha técnica recomienda de 200 a 400 g del producto por tonelada de dieta formulada, y tres concentraciones de aminoácidos (nivel recomendado por NRC 2012, 10 y 20% más), para evaluar el efecto de CrMet y concentraciones de aminoácidos. El tratamiento 1 y 2 se refieren a 0 y 2,000 ppm de CrMet, respectivamente; mientras que el 3 y 4, a las concentraciones CrMet se les incorporó 10% de AA, y los tratamientos 5 y 6 se agregaron 20% de AA a las respectivas concentraciones de CrMet.

5.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con arreglo factorial (2×3) de tratamientos. Los cerdos fueron distribuidos en los tratamientos al azar, con siete repeticiones por tratamiento, considerando un cerdo alojado en corral individual como unidad experimental, donde el modelo estadístico es el siguiente:

Modelo estadístico

$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$ o, $y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \beta(P_i) + \varepsilon_{ijk}$ (cuando de usa el peso inicial como covariable);

Donde:

$i = 1, 2, \dots, a$ número de niveles del factor A (Concentración de Met-Cr).

$j = 1, 2, \dots, b$ número de niveles del factor B (Concentración de aminoácidos).

$k = 1, 2, \dots, r$ número de repeticiones de cada combinación $A*B$.

y_{ijk} = valor de la variable respuesta correspondiente al nivel i de A , al nivel j de B , en la repetición k .

μ = media general.

A_i = efecto del nivel i de A .

B_j = efecto del nivel j de B .

$(AB)_{ij}$ = interacción $A*B$, correspondiente al nivel i de A y nivel j de B .

P_i = Peso inicial de los cerdos.

ε_{ijk} = error experimental, correspondiente al nivel i de A , al nivel j de B , en la repetición k .

Debe cumplirse que $\varepsilon_{ijk} \sim NIID(0, \sigma^2)$ (Steel *et al.*, 1997).

5.6. Variables a evaluar

Para todas las etapas experimentales (crecimiento, finalización I y finalización II) se evaluaron las mismas variables; que fueron las siguientes:

5.6.1. Respuesta productiva

Consumo de Alimento (CAL)

Se obtuvo por diferencia entre el alimento ofrecido y el alimento rechazado y se reportó en kg día^{-1} .

Ganancia diaria de peso (GDP)

Se obtuvo pesando los cerdos el primer y último día de cada etapa productiva, obteniendo los valores iniciales (PVi) y finales (PVf) de peso vivo; la GDP se determinó por diferencia del peso final menos peso inicial, dividido entre el número de días del periodo y se reportó en kg día^{-1} .

Conversión alimenticia (CA)

Fueron utilizados los datos del peso de los animales y el consumo de alimento. La CA es el cociente del consumo de alimento (kg por día) entre la ganancia de peso en kilogramos (kg kg^{-1}).

Ganancia de carne magra (GCM)

Se determinó con la ecuación V del *National Pork Producers Council* (NPPC). Se reporta como kg d^{-1} . Se obtiene utilizando el PV, el de la grasa dorsal (GD), el área del músculo *longissimus dorsi*, y el sexo de los animales (Burson y Berg, 2001).

Porcentaje de carne magra (PCM)

El porcentaje de carne magra inicial y final (PCMi, PCMf) se obtuvo utilizando los datos de grasa dorsal inicial, grasa dorsal final, área del músculo *Longissimus dorsi* inicial y final, PVi y PVf, y parte de la ecuación del NPPC.

5.6.2. Características de la canal

Grasa dorsal

Para esta variable se midió la grasa dorsal en mm (GD) al inicio y al final de cada etapa productiva en el área lumbar de la décima costilla, utilizando un ultrasonido de tiempo real SonoVet 600, transductor abdominal de 7.5 MHz (Medison, Inc., Cypress, California, USA).

Área del músculo *longissimus*

El área muscular se midió en el musculo *longissimus dorsi* de la undécima costilla del lado derecho - AML (cm²), también se midió al inicio y final de cada etapa productiva, en la misma área y medición que la grasa dorsal, utilizando el ultrasonido de tiempo real SonoVet 600, transductor abdominal de 7.5 MHz (Medison, Inc., Cypress, California, USA).

5.6.3. Urea en sangre

Al inicio y final de cada una de las etapas experimentales, se obtuvieron muestras de sangre por el método de punción en la vena cava anterior, utilizando tubos *Vacutainer*® con heparina, que luego se colocaron en hielo hasta centrifugarse a 2,500 g durante 20 min (centrifuga SIGMA 2-16k, Alemania), con la finalidad de separar el plasma del paquete celular. El plasma se transfirió a tubos eppendorf (1.5 mL) de polipropileno y se almacenó en un congelador a -20 °C (SANYO MDF-436, EUA) hasta su análisis. La determinación del contenido de urea (Chaney y Marbach, 1962) se realizó con un espectrofotómetro UV a 530 nm (Spectrophotometer Cary 1E UV-vis, Varian, Australia).

5.6.4. Análisis estadístico

A las variables respuesta antes descritas se les realizó el respectivo análisis de varianza y pruebas de comparación de medias con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). El valor de probabilidad para considerar altamente significativo el efecto de tratamiento fue 0.01; para un efecto significativo fue de 0.05; y un valor de probabilidad >0.05 y <0.1 se consideró como tendencia en las variables. El programa de computación que se utilizó para la realización de los análisis estadísticos es el SAS 9.4 TS Level 1M3 (2019). En todos los análisis estadísticos se utilizó el peso vivo inicial como covariable.

VI. RESULTADOS

Etapa de Crecimiento

Los resultados para esta etapa, se muestran de manera concentrada en el Cuadro 7.

Variables productivas

La adición extraordinaria de AA no afectó ($P>0.10$) a ninguna de las variables productivas. El consumo de alimento (CAL) disminuyó ($P\leq 0.052$) en cerdos alimentados con dietas adicionadas con 2,000 ppm de Cr en forma de CrMet; también afectó de manera negativa ($P\leq 0.039$) la ganancia de peso diaria (GDP), el peso vivo final (PVF; $P\leq 0.035$) y la ganancia de carne magra (GCM; $P\leq 0.032$), las cuales disminuyeron en 14, 9 y 15%, respectivamente. La conversión alimenticia (CA) no fue afectada ($P>0.10$) de manera significativa por el nivel de CrMet utilizado en la dieta. No se observó efecto de la interacción entre niveles de AA y CrMet ($P>0.10$).

Características de la canal

La adición de mayor cantidad de AA a la dieta no afectó ($P>0.10$) a las características de la canal. La grasa dorsal (GD) tendió ($P\leq 0.085$) a disminuir en cerdos alimentados con 2,000 ppm de CrMet. El área del músculo *longissimus* (AML) disminuyó ($P\leq 0.048$) 9% al suministrar CrMet en la dieta. El porcentaje de carne magra (CM) no fue afectado ($P>0.10$) por la adición del Cr en la dieta. No se observó efecto de la interacción entre niveles de AA y CrMet ($P>0.10$).

Concentración de urea en plasma

Los cerdos alimentados con dietas con altas concentraciones de AA presentaron hasta 36% mayor concentración de urea en plasma (CUP) con respecto a los alimentados con la dieta testigo estándar ($P\leq 0.037$); es decir, existe una relación positiva entre el porcentaje de aminoácidos de la dieta y la concentración de urea en plasma. Por otra parte, la adición de CrMet a la dieta no afectó ($P>0.10$) la concentración de urea en plasma (CUP). No se observó efecto de la interacción entre niveles de AA y CrMet ($P>0.10$).

Cuadro 7. Comportamiento y características de la canal en etapa de crecimiento.

TRA	Comportamiento productivo						Características de la canal				
	AA %	CrMet mg kg ⁻¹	CAL kg d ⁻¹	CA	GDP kg d ⁻¹	PVf kg	GCM g d ⁻¹	GD mm	AML cm ²	CM %	CUP mg dL ⁻¹
1	T	0	1.584	2.204	0.718	55.82	0.286	8.047	22.12	40.67	20.19
2	T	2,000	1.322	2.509	0.557	47.92	0.215	7.107	18.09	39.96	17.27
3	10	0	1.352	2.229	0.620	51.01	0.244	7.553	19.23	39.84	20.91
4	10	2,000	1.382	2.380	0.609	50.48	0.245	6.582	19.41	40.59	24.03
5	20	0	1.644	2.147	0.765	58.53	0.296	7.641	21.14	39.62	24.73
6	20	2,000	1.411	2.194	0.645	52.24	0.246	7.641	19.54	39.86	26.30
	EEM		0.094	0.132	0.055	2.7	0.021	0.441	1.083	0.411	2.512
	T		1.453	2.357	0.638	51.87	0.250	7.577	20.11	40.31	18.73c
	10		1.367	2.305	0.615	50.74	0.244	7.068	19.32	40.21	22.47b
	20		1.528	2.170	0.705	55.39	0.271	7.641	20.34	39.73	25.52a
		0	1.525	2.193	0.701a	55.11a	0.275a	7.747	20.83a	40.04	21.94
		2,000	1.371	2.361	0.604b	50.22b	0.235b	7.110	19.01b	40.14	22.53
AA			0.252	0.362	0.255	0.226	0.444	0.371	0.617	0.338	0.037
CrMet			0.052	0.129	0.039	0.035	0.032	0.085	0.048	0.779	0.775
AA × CrMet			0.252	0.623	0.388	0.379	0.249	0.463	0.165	0.212	0.466
PVi			0.0001	0.185	0.011	0.0001	0.013	0.004	0.0001	0.814	0.436

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal al haber distinta literal por columna indica que son diferentes ($P \leq 0.05$).

[†]TRA: tratamiento; EEM: error estándar de la media; T: testigo; AA: Aminoácidos; CrMet: Metionina de cromo; PVi: peso vivo inicial; CAL: consumo de alimento; CA: conversión alimenticia; GDP: ganancia diaria de peso; PVf: peso vivo final; GCM: ganancia de carne magra; GD: grasa dorsal; AML: área del músculo *longissimus*; CM: carne magra; CUP: concentración de urea en plasma.

^{††}Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$).

Finalización I

En el Cuadro 8 se muestran los valores obtenidos por variable para esta etapa de la engorda.

Variables productivas

El consumo de alimento no fue afectado ($P > 0.10$) por la adición de mayores niveles de AA a la dieta (Cuadro 8). Sin embargo, mayor concentración de AA en la dieta aumentó ($P \leq 0.019$) la CA; y se redujo la GDP ($P \leq 0.046$), el PVf ($P \leq 0.052$) y la GCM ($P \leq 0.029$). La adición de Cr en forma de CrMet (2,000 ppm) no afectó ($P > 0.10$) el CAL; pero empeoró la CA, ya que esta variable se incrementó ($P \leq 0.008$) en 11.5%. La GDP ($P \leq 0.064$) y el PVf ($P \leq 0.074$) tendieron a disminuir con la adición de CrMet; mientras que la GCM no fue afectada ($P > 0.10$) por la incorporación de CrMet a la dieta.

Características de la canal

Para la etapa de finalización I, la GD y el %CM no fueron afectadas de manera significativa ($P > 0.10$) al adicionar cantidades extraordinarias de AA a la dieta, y solamente el AML tendió ($P \leq 0.078$) a disminuir al incrementarse el contenido de AA. Por otra parte, incorporar el CrMet en la dieta no afectó ($P > 0.10$) ninguna de las variables de características de la canal.

Concentración de urea en plasma

La adición de mayor cantidad de AA o de CrMet a las dietas para cerdos en finalización I no afectó de manera significativa ($P > 0.10$) la concentración de urea en plasma (CUP) en esta fase de la engorda.

Cuadro 8. Comportamiento productivo y características de la canal en etapa de finalización I.

TRA	AA %	Comportamiento productivo					Características de la canal				
		CrMet mg kg ⁻¹	CAL kg d ⁻¹	CA	GDP kg d ⁻¹	PVf Kg	GCM g d ⁻¹	GD mm	AML cm ²	CM %	CUP mg dL ⁻¹
1	T	0	2.457	2.694	0.919	78.40	0.350	10.59	29.31	39.84	23.10
2	T	2,000	2.663	3.098	0.860	76.74	0.349	11.07	29.65	40.00	20.18
3	10	0	2.419	2.840	0.849	76.47	0.333	10.51	28.26	39.49	24.55
4	10	2,000	2.430	3.286	0.748	73.60	0.290	10.36	28.21	40.03	26.99
5	20	0	2.681	3.248	0.807	75.47	0.294	10.38	25.88	38.76	30.45
6	20	2,000	2.617	3.407	0.769	74.22	0.306	10.65	28.04	39.79	23.61
	EEM		0.144	0.143	0.043	1.193	0.018	0.436	1.051	0.501	3.995
	T		2.560	2.896c	0.889a	77.57	0.349a	10.83	29.48	39.92	21.64
	10		2.424	3.062b	0.799b	75.03	0.311b	10.44	28.23	39.76	25.77
	20		2.649	3.328a	0.788b	74.85	0.300b	10.52	26.96	39.28	27.03
		0	2.519	2.927b	0.859	76.78	0.326	10.49	27.81	39.37	26.04
		2,000	2.570	3.264a	0.792	74.85	0.315	10.69	26.63	39.94	23.59
AA			0.321	0.019	0.046	0.052	0.029	0.634	0.078	0.434	0.366
CrMet			0.680	0.008	0.074	0.064	0.494	0.589	0.365	0.182	0.462
AA × CrMet			0.632	0.557	0.749	0.786	0.302	0.765	0.539	0.680	0.496
PVi			0.0001	0.0005	0.005	0.0001	0.0004	0.0001	0.0001	0.587	0.936

^{a, b}Medias de tratamiento o efecto principal al haber distinta literal por columna indica que son diferentes ($P \leq 0.05$).

[†]TRA: tratamiento; EEM: error estándar de la media; T: testigo; AA: Aminoácidos; CrMet: Metionina de cromo; PVi: peso vivo inicial; CAL: consumo de alimento; CA: conversión alimenticia; GDP: ganancia diaria de peso; PVf: peso vivo final; GCM: ganancia de carne magra; GD: grasa dorsal; AML: área del músculo *longissimus*; CM: carne magra; CUP: concentración de urea en plasma.

^{††}Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$).

Finalización II

La descripción de esta etapa (Finalización II), se basa en los datos mostrados en el Cuadro 9.

Variables productivas

La mayor concentración de AA en la dieta no tuvo efecto ($P>0.10$) sobre el CAL, la CA, la GDP, el PVf o la GCM (Cuadro 9). Tampoco la adición del CrMet a la dieta afectó ($P>0.10$) a estas variables productivas. No se observó efecto de interacción ($P>0.10$) de los factores en estudio sobre las variables analizadas.

Características de la canal

Las variables de la canal no fueron afectadas ($P>0.10$) por el nivel de AA de la dieta. Por otra parte, la GD tampoco se afectó ($P>0.10$) por la adición de CrMet en el alimento. Sin embargo, agregar el CrMet en el alimento aumentó significativamente el AML ($P\leq 0.02$) y el %CM en la canal ($P\leq 0.055$). No se observó efecto de interacción ($P>0.10$) de los factores en estudio sobre las variables de la canal.

Concentración de urea en plasma

La mayor concentración de AA en la dieta ($P>0.10$), o la adición de CrMet al alimento de los cerdos no afectó ($P>0.10$) la CUP en la etapa de finalización II. Tampoco se observó efecto de interacción ($P>0.10$) de ambos factores sobre esta variable.

Cuadro 9. Comportamiento productivo y características de la canal en etapa de finalización II.

TRA	AA %	Comportamiento productivo					Características de la canal				
		CrMet mg kg ⁻¹	CAL kg d ⁻¹	CA	GDP kg d ⁻¹	PVf Kg	GCM g d ⁻¹	GD mm	AML cm ²	CM %	CUP mg dL ⁻¹
1	T	0	3.227	3.945	0.849	102.13	0.287	14.16	34.59	38.28	24.78
2	T	2,000	3.258	3.836	0.847	102.06	0.309	13.91	36.54	39.01	19.60
3	10	0	3.157	3.872	0.829	101.51	0.284	12.49	33.03	38.07	21.08
4	10	2,000	3.113	3.702	0.842	101.93	0.318	13.84	37.50	39.53	22.52
5	20	0	3.273	4.063	0.808	100.88	0.295	12.23	32.48	38.06	23.50
6	20	2,000	3.058	3.739	0.824	101.34	0.288	13.79	34.91	38.59	26.45
	EEM		0.119	0.232	0.042	1.333	0.018	0.745	1.422	0.534	2.208
	T		3.242	3.891	0.848	102.09	0.298	14.03	35.56	38.65	22.19
	10		3.135	3.787	0.836	101.72	0.301	13.16	35.26	38.80	21.80
	20		3.166	3.901	0.816	101.11	0.292	13.02	33.70	38.32	24.97
		0	3.219	3.960	0.829	101.51	0.289	12.96	33.37b	38.14	23.12
		2,000	3.143	3.759	0.838	101.78	0.305	13.85	36.32a	39.05	22.86
AA			0.646	0.863	0.749	0.751	0.872	0.336	0.375	0.665	0.304
CrMet			0.463	0.316	0.807	0.811	0.292	0.174	0.020	0.055	0.889
AA × CrMet			0.569	0.888	0.973	0.974	0.490	0.413	0.637	0.656	0.152
PVi			0.0001	0.491	0.0006	0.0001	0.0003	0.0001	0.0001	0.259	0.539

^{a, b}Medias de tratamiento o efecto principal al haber distinta literal por columna indica que son diferentes ($P \leq 0.05$).

[†]TRA: tratamiento; EEM: error estándar de la media; T: testigo; AA: Aminoácidos; CrMet: Metionina de cromo; PVi: peso vivo inicial; CAL: consumo de alimento; CA: conversión alimenticia; GDP: ganancia diaria de peso; PVf: peso vivo final; GCM: ganancia de carne magra; GD: grasa dorsal; AML: área del músculo *longissimus*; CM: carne magra; CUP: concentración de urea en plasma.

^{††}Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$).

Periodo global de engorda

En el Cuadro 10 se muestra el análisis global de la engorda evaluada con las diferentes variables productivas, características de la canal y urea en plasma.

Variables productivas

Cuando se analizan los resultados de manera global (Cuadro 10) se encontró que la adición extraordinaria de AA a la dieta de los cerdos no influyó ($P > 0.10$) sobre las variables productivas. Sin embargo, el CAL ($P \leq 0.072$) y la GCM ($P \leq 0.064$) tendieron a disminuir con la adición de CrMet a la dieta, mientras que la CA no fue afectada ($P > 0.10$). El CrMet en el alimento también afectó negativamente la GDP ($P \leq 0.021$) y el PVf ($P \leq 0.019$), ya que disminuyó la ganancia de peso en 80 g/d y los cerdos tuvieron 8.754 kg menos peso vivo final en toda la engorda. No se observó efecto de interacción ($P > 0.10$) de los factores en estudio sobre la respuesta productiva.

Características de la canal

La adición de AA a las dietas de todas las etapas no afectó ($P > 0.10$) las variables de la canal de toda la engorda de los cerdos. Asimismo, la GD y el AML no fueron afectados por la incorporación de CrMet a las dietas de todas las etapas; solamente el %CM tendió a mejorar ($P \leq 0.074$) en los cerdos que recibieron el CrMet en el alimento. No se encontró efecto de interacción ($P > 0.10$) de la concentración de AA en el alimento y la adición con CrMet sobre las características de la canal.

Concentración de urea en plasma

La evaluación global de los datos de las tres etapas indicó que ni la concentración de AA en el alimento ($P > 0.10$) ni la adición de CrMet a la dieta ($P > 0.10$), ni su interacción ($P > 0.10$), tuvieron efecto sobre la CUP de los cerdos.

Cuadro 10. Comportamiento productivo y características de la canal en análisis global.

TRA	Comportamiento productivo						Características de la canal					
	AA %	CrMet mg kg ⁻¹	PVi kg	CAL kg d ⁻¹	CA	GDP kg d ⁻¹	PVf Kg	GCM g d ⁻¹	GD mm	AML cm ²	CM %	CUP mg dL ⁻¹
1	T	0	20.36	2.359	2.871	0.823	109.48	0.310	15.35	37.96	38.45	24.94
2	T	2,000	20.00	2.137	3.065	0.703	96.582	0.269	12.85	34.05	38.97	19.03
3	10	0	20.74	2.122	2.884	0.735	100.03	0.276	12.26	32.34	38.04	21.08
4	10	2,000	20.57	2.091	2.986	0.701	96.303	0.272	12.87	34.92	39.43	22.25
5	20	0	21.07	2.491	3.060	0.809	108.56	0.304	13.62	35.98	38.17	24.06
6	20	2,000	21.07	2.179	3.014	0.725	98.915	0.272	13.48	33.79	38.50	26.58
EEM				0.124	0.090	0.040	4.350	0.016	1.126	2.329	0.501	2.087
Efectos principales												
T				2.248	2.968	0.763	103.03	0.289	14.10	36.01	38.71	21.99
10				2.106	2.935	0.718	98.161	0.274	12.57	33.63	38.73	21.66
20				2.335	3.037	0.767	103.74	0.288	13.55	34.89	38.33	25.32
0				2.324	2.938	0.789a	106.02a	0.297	13.74	35.43	38.22	23.36
2,000				2.136	3.021	0.709b	97.266b	0.271	13.07	34.25	38.97	22.62
Fuente de variación						Valor de P						
AA				0.192	0.524	0.406	0.387	0.576	0.396	0.600	0.675	0.170
CrMet				0.072	0.269	0.021	0.019	0.064	0.467	0.540	0.074	0.667
AA × CrMet				0.522	0.419	0.572	0.569	0.501	0.367	0.363	0.534	0.110
PVi				0.002	0.157	0.008	0.0001	0.003	0.125	0.0003	0.032	0.107

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal al haber distinta literal por columna indica que son diferentes ($P \leq 0.05$).

[†]TRA: tratamiento; EEM: error estándar de la media; T: testigo; AA: Aminoácidos; CrMet: Metionina de cromo; PVi: peso vivo inicial; CAL: consumo de alimento; CA: conversión alimenticia; GDP: ganancia diaria de peso; PVf: peso vivo final; GCM: ganancia de carne magra; GD: grasa dorsal; AML: área del músculo *longissimus*; CM: carne magra; CUP: concentración de urea en plasma.

^{††}Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable ($P \leq 0.05$).

VII. DISCUSIÓN

Etapa de crecimiento

Se esperaba que la mayor concentración de AA en la dieta mejorara la respuesta productiva de los cerdos, ya que se ha sugerido que, cuando se utiliza un aditivo, en este caso Cr, en forma de CrMet, teóricamente aumenta la respuesta animal (mayor crecimiento y retención de proteína corporal), y se incrementan los requerimientos de AA (Wray-Cahen, 2001). Sin embargo, esto no ocurrió, probablemente porque la dieta testigo cubrió los requerimientos nutricionales de los cerdos, por lo que, al agregar más AA, ya no tuvieron la capacidad genética para aprovecharlos con mayor ganancia o mejor conversión; o con mejoras en las características de la canal. Esto se reflejó en una mayor concentración de urea en plasma, indicando que las dosis adicionales de AA se metabolizaron para la eliminación del exceso de nitrógeno en el alimento (Figuroa *et al.*, 2003; Kerr *et al.*, 2003). Se ha encontrado que la alimentación de los cerdos con dietas con altos niveles de AA puede resultar en efectos adversos debido al antagonismo, toxicidad y desequilibrio entre AA (D'Mello, 2003). Los cerdos pueden tolerar altas concentraciones de proteína con pocos daños específicos, excepto algunas diarreas mecánicas; pero con más del 25% sobre el nivel óptimo, se afecta el desarrollo de los cerdos con reducción de la ganancia diaria de peso y deterioro de la conversión alimenticia y hay una elevada contaminación ambiental (NRC, 2012). El primer síntoma asociado con exceso de AA es la reducción del consumo de alimento, lo que fue observado en la presente investigación; y esto afectó toda la respuesta productiva.

Por otra parte, contrario a lo que se esperaba, agregar CrMet a las dietas tuvo un efecto negativo sobre las variables productivas y las características de la canal, que disminuyeron la respuesta en los cerdos alimentados con el CrMet en la dieta (incluso con la dieta estándar en AA), lo que coincide con diversos reportes de literatura, en los cuales la suplementación de una fuente orgánica de Cr generalmente no ha proporcionado mejoras sustanciales en las variables productivas y de la canal, e incluso causaron un efecto adverso para la productividad de los animales (Van Heugten y Spears, 1997; Tang *et al.*, 2001; Lien *et al.*, 2005). Lo anterior podría deberse a la dosis utilizada en la presente investigación (2,000 ppm); aunque la adición de dosis menores (400 ppb) tampoco tuvo efecto benéfico

sobre las variables productivas, afectando también al consumo de alimento (Park *et al.*, 2009; Almeida *et al.*, 2010), resultado similar al observado en esta investigación. Con dosis de 100-800 µg/kg en forma de CrMet, tampoco se encontraron efectos del nivel utilizado sobre las variables en estudio (Yao *et al.*, 2014); ni utilizando otra fuente orgánica de Cr, como el picolinato, en dosis de 200 µg/kg (Untea *et al.*, 2017).

Los resultados anteriores contrastan con reportes donde encontraron efectos positivos del cromo orgánico sobre las variables en estudio: con 200 µg/kg de propionato de Cr se mejoró la ganancia de peso, el consumo de alimento, la conversión alimenticia y el uso de la energía del alimento (Matthews *et al.*, 2003; Güémez *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2013). Panaite *et al.* (2013) sugieren que la presencia regulada de cromo (Cr) en las dietas para cerdos estimula la actividad intracelular, por lo que mejora la absorción de glucosa en las células musculares, incrementa la permeabilidad de la membrana celular e incrementa la actividad de las proteínas transportadoras de glucosa (GLUT4).

Etapa de finalización I

La adición de cantidades extraordinarias de AA a la dieta afectó de manera negativa la respuesta productiva y las características de la canal, lo que coincide con otros autores que señalaron los efectos adversos de alimentar a los cerdos con dietas con exceso de AA (Harper *et al.*, 1970; D'Mello, 2003). En esta etapa de la engorda, los cerdos tienen mayor tolerancia a mayor concentración de proteína cruda (AA) en la dieta, lo que se reflejó en que el consumo de alimento no cambió por el nivel de AA en el alimento. Sin embargo, las demás variables productivas y de la canal fueron menores a lo esperado de acuerdo a la capacidad genética de los cerdos utilizados en la presente investigación (NRC, 2012).

En cuanto a la adición de CrMet a la dieta, este mineral no mejoró las variables productivas y de la canal, e incluso disminuyó algunas de ellas. Lo anterior podría deberse a la concentración utilizada en esta investigación (2,000 ppm), ya que, cuando se utilizan concentraciones menores se obtienen mejoras en la conversión alimenticia (100-800 µg kg⁻¹; Page *et al.*, 1993). Se ha reportado que la concentración “ideal” de Cr, en forma de CrMet, es de 200 µg/kg (Xi *et al.*, 2001); aunque Wang *et al.* (2009) sugirieron 400 ppb. Esto explicaría la respuesta negativa sobre las variables analizadas con la adición de CrMet a la dieta de los cerdos, ya que se aplicó 10 veces la concentración “ideal” mencionada. En

otros casos, niveles de adición de 400 ppb de Cr no mejoró la respuesta productiva, e incluso disminuyó el consumo de alimento (Park *et al.*, 2009; Almeida *et al.*, 2010). En niveles desde 100 hasta 800 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de fuente CrMet no mejoró las variables productivas (Yao *et al.*, 2015); incluso con otra fuente orgánica (picolinato), en dosis de 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$, no se mejoraron o se redujeron dichas variables en los cerdos (Untea *et al.*, 2017). Lo anterior contrasta con los resultados positivos de la adición de Cr a la dieta de los cerdos en engorda, ya que se ha reportado que se mejora el consumo de alimento, la ganancia diaria de peso, la conversión alimenticia, el peso final de los cerdos, así como la utilización de la energía del alimento (Matthews *et al.*, 2003; Güémez *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2013); lo que podría deberse a que la presencia regulada de cromo (Cr) en las dietas de cerdos estimula la actividad intracelular, por lo que mejora la absorción de glucosa en las células musculares, incrementa la permeabilidad de la membrana celular e incrementa la actividad de las proteínas transportadoras de glucosa (GLUT4; Panaite *et al.*, 2013).

Etapas de finalización II

Los cerdos en la última fase de la engorda tienen mayor tolerancia a altos niveles de AA en la dieta que en las etapas previas (Lewis, 2001), ya que no se afectaron las variables productivas y de la canal, e incluso, no cambió significativamente la concentración de urea en plasma.

En esta última fase de la engorda se mejoró el AML en los cerdos que recibieron la dieta con CrMet, lo que coincide con otros reportes donde utilizaron dosis menores de Cr (200 ppb; Matthews *et al.*, 2005), o 200 ppb de picolinato de Cr (Untea *et al.*, 2017), o 400 ppb (Wang *et al.*, 2009). Esto indicaría un efecto benéfico del CrMet sobre esta variable de la canal, lo que coincide con varios autores que han reportado efectos positivos de la adición de Cr en la dieta para cerdos, mejorando la calidad de la carne (Anderson, 1992); aumentando el área del músculo *longissimus dorsi* y disminuyendo la grasa dorsal (Page *et al.*, 1993; Lindemann *et al.*, 1995; Mooney y Cromwell, 1997; Lien *et al.*, 2001; Xi *et al.*, 2001; Wang y Xu, 2004; Jackson *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2013; y Yao *et al.*, 2015); promoviendo la síntesis de insulina, proteínas, ácidos nucleicos, y estimulando el metabolismo de lípidos (Li *et al.*, 2000; Shanker *et al.*, 2005); aumentando el consumo de alimento, la ganancia diaria de peso, la conversión alimenticia y el peso vivo final de los

cerdos, y se mejoró la utilización de la energía del alimento (Güémez *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2013). Incluso utilizando 200 ppm de picolinato de Cr se ha observado mayor deposición de proteína en lomo y en jamón y disminución de la grasa dorsal (Untea *et al.*, 2017). Todo lo anterior podría deberse a que se ha sugerido que la presencia regulada de cromo (Cr) en las dietas de cerdos, estimula la actividad intracelular, por lo que se mejora la inclusión de glucosa a las células del músculo, incrementa la permeabilidad de la membrana celular y aumenta la actividad de las proteínas transportadoras de glucosa (GLUT4) hacia la célula, lo que se traduce en mayor síntesis de proteína muscular (Panaite *et al.*, 2013).

Lo anterior contrasta con la respuesta observada en la presente investigación, donde no se encontraron efectos (o fueron efectos negativos) sobre las variables productivas o de la canal; tampoco la adición de 400 ppb de Cr influyó en las variables productivas, con excepción de la disminución del consumo de alimento (Park *et al.*, 2009; Almeida *et al.*, 2010). Con dosis de 100-800 µg/kg de CrMet en el alimento de los cerdos no se afectaron las variables productivas o de la canal (Yao *et al.*, 2014).

Periodo global de engorda

De manera general, se observa que la influencia del tipo de dieta, está estrechamente relacionada con la etapa productiva del cerdo, es decir, que en edades tempranas de los animales son más influenciados por la alteración de las dietas con algún suplemento, en este caso cantidades extraordinarias de AA y la adición de CrMet a 2,000 ppm.

La adición de 10 o 20% más AA a las dietas de los cerdos no afectó las variables productivas, de las características de la canal, ni la concentración de urea en plasma de toda la fase de engorda. Lo anterior pudo deberse a que los cerdos ya tenían cubiertos sus requerimientos de AA con la dieta testigo, por lo que al agregar más AA ya no tuvieron la capacidad genética para aprovechar estos nutrientes con mayor crecimiento

En lo que respecta a la adición de Cr, los resultados de esta investigación mostraron que algunas variables productivas y de la canal se redujeron en los cerdos alimentados con CrMet, lo que podría deberse a la concentración del aditivo utilizado (2,000 ppm). Otros autores han encontrado mejor ganancia diaria de peso y mejor utilización de la energía de la dieta con 200 ppb de propionato de cromo (Matthews *et al.*, 2003); mejor ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y peso vivo final con 400 ppb de CrMet (Güémez *et al.*,

2011); y aumento lineal de la ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia con dosis de 0.3-0.9 mg/kg (Li *et al.*, 2013). Lo anterior podría deberse a la sugerencia de que la adición de Cr en la dieta estimula la actividad intracelular porque se mejora la absorción de glucosa en las células musculares, se mejora la permeabilidad de la membrana celular y la actividad de las proteínas encargadas del transporte celular de glucosa (GLUT4; Panaite *et al.*, 2013). Muchos reportes (como los anteriores) han encontrado efectos benéficos de la adición de Cr a dietas para cerdos en engorda; sin embargo, se consideran todavía no concluyentes (Matthews *et al.*, 2005).

VIII. CONCLUSIONES

Aumentar la concentración de aminoácidos (10 y 20%) por encima de los requerimientos sugeridos por el NRC (2012) en la dieta de cerdos en todas las etapas de engorda, no mejora las variables productivas ni las características de la canal; aunque aumenta la concentración de urea en plasma en crecimiento.

La adición de Cr en forma de CrMet (2,000 ppm) a dietas para cerdos en el ciclo de engorda, no mejora las variables productivas ni las características de la canal; al contrario, hay un efecto negativo, excepto por la etapa de finalización II donde hay un aumento en el área del músculo *longissimus dorsi*, siendo la única variable afectada positivamente.

IX. LITERATURA CITADA

- Almeida, V.D., B. Berenchtein, L.B. Costa, M.L.P. Tse, D.B. Braz, and V.S. Miyada. 2010. Ractopamina, cromo-metionina e suas combinações como aditivos modificadores do metabolismo de suínos em crescimento e terminação. *R. Bras. Zootec.* 39: 1969-1977.
- Alvarado, A., R. Blanco, y E. Mora. 2002. El cromo como elemento esencial en los humanos. *Rev. Costarric. Cienc. Med.* 23: 55-68.
- Anderson, R.A. 1992. Chromium supplementation: effects on glucose tolerance and diabetes. *Biol. Trace Elem. Res.* 32: 19-24.
- Anderson, R.A. 1997. Chromium as an essential nutrient for humans. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 26: 35-41.
- Anderson, R.A. 1998. Effects of chromium on body composition and weight loss. *Nutr. Rev.* 56: 266-270.
- Blachier, F., C. Boutry, C. Bos, and D. Tomé. 2009. Metabolism and functions of L-glutamate in the epithelial cells of the small and large intestines. *Am. J. Clin. Nutr.* 90: 814-821.
- Blachier, F., A.M. Davila, R. Benamouzig y D. Tomé. 2011. Canalización de arginina en el NO y vías de poliamina en colonocitos y consecuencias. *Front. Biosci.* 16: 1331-1343.
- Bunting, L.D. 1999. Chromium and dairy nutrition: What do we know? In: *Proceedings of Mid-South Ruminant Nutrition Society.* 18 p.
- Bunting, L.D., J.M Fernandez, D.L. Thompson, and L.L. Southern. 1994. Influence of chromium picolinate on glucose usage and metabolic criteria in growing Holstein calves. *J. Anim. Sci.* 72: 1591-1599.
- Burrin, D.G., and P.J. Reeds. 1997. Alternative fuels in the gastrointestinal tract. *Curr. Opin. Gastroenterol.* 13: 165-170.
- Burson, D., and E. Berg. 2001. Procedures for estimating pork carcass composition. *Pork Quality Facts.* National Pork Procedures Council. Des Moines. I. A. USA. 4 p.
- Cefalu, W.T., and F.B. Hu. 2004. Role of chromium in human health and diabetes. *Diabetes Care.* 27: 2741-2751.

- Chaney, A.L., and E.P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Commission, E. 2003. Regulation (EC) No 1831/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September. On additives for use in animal nutrition, *Official J. Euro. Union. L.* 268: 29-43.
- Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS). 2001. International guiding principles for biomedical research involving animals. Geneva, Switzerland.
- D'Mello, J.P.F. 2003. Adverse effects of amino acids. In: *Amino Acids in Animal Nutrition*. J.P.F. D'Mello, ed. Wallingford, UK: CABI. pp. 125-142.
- Dai, Z. L., G. Wu, and W. Y. Zhu. 2011. Amino acid metabolism in intestinal bacteria: links between gut ecology and host health. *Front. Biosci.* 16: 1768–1786.
- Danura, S. 2005. Nutrición y alimentación del ganado porcino [en línea]. Técnico de vetifarma. Consultado, 15 de febrero de 2017, <http://www.aacporcinos.com.ar/articulos>.
- Dattilo, A.M., and S.G. Miguel. 2003. Chromium in health and disease. *Nut. Today.* 38: 121-133.
- Debski, B., W. Zalewski, M. Gralak, and T. Kosla. 2004. Chromium yeast supplementation of chicken broilers in an industrial farming system. *J. Trace. Elem. Med. Biol.* 18: 47-51.
- Diario Oficial de la Unión Europea (CE). 2003. Reglamento sobre aditivos en la alimentación animal (1831). Consultado el 22 de enero de 2019, en: <https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html?locale=es>.
- Di-Bona, K.R., S. Love, N.R. Rhodes, D. McAdory, S.H. Sinha, N. Kern, J. Kent, J. Strickland, A. Wilson, J. Beaird, J. Ramage, J.F. Rasco, and J.B. Vincent. 2011. Chromium is not an essential trace element for mammals: effects of a “low-chromium” diet. *J. Biol. Inorg. Chem.* 16: 381-390.
- Ducros, V. 1992. Chromium metabolism. *Biol. Trace. Elem. Res.* 32: 65–77.
- Duncan, S.H, A. Belenguer, G. Holtrop, A.M. Johnstone, H.J. Flint, and G.E. Lobley. 2007. Reduced dietary intake of carbohydrates by obese subjects results in decreased

- concentrations of butyrate and butyrate-producing bacteria in feces. *Appl. Environ. Microbiol.* 73: 1073–1078.
- Ebrahimzadeh, S.K., P. Farhoomand, and K. Noori. 2012. Immune response of broiler chickens fed diets supplemented with different level of chromium methionine under heat stress conditions. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 25: 256-260.
- Elango, R., R.O. Ball, and P.B. Pencharz. 2009. Amino acid requirements in humans: with a special emphasis on the metabolic availability of amino acids. *Amino acids.* 37: 19.
- Evans, G.W. 1989. The effect of chromium picolinate on insulin controlled parameters in humans. *Int. J. Biosocial. Med. Res.* 11: 163.
- Evenepoel, P., D. Claus, B. Geypens, M. Hiele, K. Geboes, P. Rutgeerts, and Y. Ghoo. 1999. Amount and fate of egg protein escaping assimilation in the small intestine of humans. *Am. J. Physiol.* 277: 935-943.
- Figuroa, J.L., A.J. Lewis, P.S. Miller, R.L. Fischer and R.M. Diedrichsen. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine and valine. *J. Anim. Sci.* 81: 1529-1537.
- Freeman, H.J., and Y.S. Kim. 1978. Digestion and absorption of protein. *Annu. Rev. Aled.* 29: 99-116.
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). 2010. Aditivos en alimentación animal: presente y futuro, Consultado el 26 de enero de 2019, en: http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_promotores_crecimiento/44-10CAP_I.pdf.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana). 5ª edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 90 p.
- Grijalva, H.M.I., V.M.N. Ballesteros, y P.R.M. Cabrera. 2001. Contenido de cromo en alimentos y estimación de su ingestión dietaria en el Noroeste de México. *Arch. Latinoam. Nutr.* 51: 105-110.

- Güémez-Gaxiola, H.R., J.A. Romo-Rubio, J.M. Romo-Valdez, H. Ramos-Acosta, J.M. Uriarte-López, S.A. Félix-Camacho, F.G. Ríos-Rincón, R. Barajas-Cruz, y S.M. Gaxiola-Camacho. 2011. Efecto de la adición de cromo a la dieta en el desempeño productivo y características de la canal del cerdo en crecimiento-finalización. *Red. Vet.* 12: 1-11.
- Harper, A.E., N.J. Benevenga, and R.M. Wohlheuter. 1970. Effects of ingestion of disproportionate amounts of amino acids. *Physiol. Rev.* 50: 428-558.
- Haynes, T.E., P. Li, X. Li, K. Shimotori, H. Sato, N.E. Flynn, J. Wang, D.A. Knabe, and G. Wu. 2009. L-Glutamine or L-alanyl-L-glutamine prevents oxidant-or endotoxin-induced death of neonatal enterocytes. *Amino acids.* 37: 131-142.
- Jackson, A.R., S. Powell, S.L. Johnston, J.O. Matthews, T.D. Bidner, F.R. Valdez, and L.L. Southern. 2009. The effect of chromium as chromium propionate on growth performance, carcass traits, meat quality, and the fatty acid profile of fat from pigs fed no supplemented dietary fat, choice white grease, or tallow. *J. Anim. Sci.* 87: 4032-4041.
- Jeejeebhoy, K.N. 1999. The role of the chromium in nutrition and therapeutics and as a potential toxin. *Nutr. Rev.* 57: 329-335.
- Kerr, B.J., L.L. Southern, T.D. Bidner, K.G. Friesen, and R.A. Easter. 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81: 3075-3087.
- Kim, S.W., G. Wu, and D.H. Baker. 2005. Ideal protein and dietary amino acid requirements for gestating and lactating sows. *Pig News and Information.* 26: 89-99.
- Kim, J.Y., G.W. Song, G. Wu, and F.W. Bazer. 2012. Roles funcionales de la fructosa. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109: 1619-1628.
- Kreider, R. B. 1999. Dietary supplements and the promotion of muscle growth with resistance exercise. *Sports Med.* 27: 97-110.
- Langwinsky, D., e H.O. Patino. 2002. A Nutrição de ruminantes e os complexos orgânicos de minerais. *Tortuga.* P. 52.

- Lassiter, J.W., and H.M. Edwards. 1982. Comparative digestion and absorption: general concepts. In: Animal Nutrition. Reston Publishing Co., Reston, Virginia, USA. pp.13–23.
- Lewis, A.J. 2001. Amino acids in swine nutrition. In: Swine Nutrition, 2nd ed. A.J. Lewis and L.L. Southern editors. CRC Press. Boca Raton, Fl. pp. 132-150.
- Li, Z., Y. Li, S. Guo, and S. Zhang. 2000. Study of the factors of Cr (III) bioaccumulation on *Spirulina platensis*. Chin. J. Biotechnol. 16: 108-112.
- Li, X., F.W. Bazer, H. Gao, W. Jobgen, G.A. Johnson, P. Li, J. R. McKnight, M.C. Satterfield, T.E. Spencerm, and G. Wu. 2009. Amino acids and gaseous signaling. Amino acids, 37: 65-78.
- Li, Y.S., N.H. Zhu, P.P. Niu, F.X. Shi, C.L. Hughes, G.X. Tian, and R.H. Huang. 2013. Effects of dietary chromium methionine on growth performance, carcass composition, meat colour and expression of the colour-related gene myoglobin of growing-finishing pigs. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 26: 1021-1029.
- Lien, T.F., C.P. Wu, B.J. Wang, M.S. Shiao, T.Y. Shiao, B.H. Lin, J.J. Lu, and C.Y. Hu. 2001. Effect of supplemental levels of chromium picolinate on the growth performance, serum traits, carcass characteristics and lipid metabolism of growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 72: 289-296.
- Lien, T.F., K.H. Yang, and K.J. Lin. 2005. Effects of chromium propionate supplementation on growth performance, serum traits and immune response in weaned pigs. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 18: 403-408.
- Lindemann, M.D., C.M. Wood, A.F. Harper, E.T. Kornegay, and R.A. Anderson. 1995. Dietary chromium picolinate additions improve gain: feed and carcass characteristics in growing-finishing pigs and increase litter size in reproducing sows. J. Anim. Sci. 73: 457-465.
- Lindemann, M.D. 2007. Use of chromium as an animal feed supplement. In: The Nutritional Biochemistry of Chromium (III). J.B. Vincent ed. Elsevier Press, Amsterdam, NL. pp 85-118.

- Lindemann, M. D., and N. Lu. 2019. Use of chromium as an animal feed supplement. In *The nutritional biochemistry of chromium (III)* (pp. 79-125). Elsevier.
- Lukaski, H.C. 1999. Chromium as a supplement. *Annu. Rev. Nutr.* 19: 279-302.
- Mardinoglu, A., S. Shoaie, M. Bergentall, P. Ghaffari, C. Zhang, E. Larsson, F. Backhed, and J. Nielsen. 2015. The gut microbiota modulates host amino acid and glutathione metabolism in mice. *Mol. Syst. Biol.* 11: 834.
- Mateo, R.D., G. Wu, H.K. Moon, J.A. Carroll, and S.W. Kim. 2008. Effects of dietary arginine supplementation during gestation and lactation on the performance of lactating primiparous sows and nursing piglets. *J. Anim. Sci.* 86: 827-835.
- Matthews, J. O., A. C. Guzik, F. M. Le-Mieux, L. L. Southern, and T. D. Bidner. 2005. Effects of chromium propionate on growth, carcass traits, and pork quality of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 83: 858-862.
- Matthews, J.O., A.D. Higbie, L.L. Southern, D.F. Coombs, T.D. Bidner, and R.L. Odgaard. 2003. Effect of chromium propionate and metabolizable energy on growth, carcass traits, and pork quality of growing finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 191-196.
- McDowell, L.R. 1992. *Minerals in animal and human nutrition*. Academic Press Inc. Harcourt Brace Jovanovich Publishers, San Diego, CA. 660 p.
- Mertz, W. 1987. *Trace elements in human and animal nutrition*. 5th ed. Academic Press. Inc., USA. 1: 225-243.
- Mertz, W. 1993. Chromium in human nutrition: A review. *J. Nutr.* 123: 626-633.
- Microsof Excel. 2016. Microsoft Corporation. 1985- 2001. USA.
- Mooney, K.W., and G.L. Cromwell. 1995. Effects of dietary chromium picolinate supplementation on growth, carcass characteristics, and accretion rates of carcass tissues in growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73: 3351-3357.
- Mooney, K. W., and G. L. Cromwell. 1997. Efficacy of chromium picolinate and chromium chloride as potential carcass modifiers in swine. *J. Anim. Sci* 75: 2661-2671.
- Morales, A., N. Arce, M. Cota, L. Buenabad, E. Avelar, J.K. Htoo, and M. Cervantes. 2015. Effect of dietary excess of branched-chain amino acids on performance and serum

- concentrations of amino acids in growing pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 100: 39-45.
- Mowat, D.N. 1997. Organic chromium in animal nutrition. Chromium Books. Guelph. Canada. 258 p.
- National Research Council (NRC). 1998. The role of chromium in animal nutrition. Natl. Acad. Press, Washington, D.C.
- National Research Council (NRC). 2012. Nutrient Requirements of swine. 11th ed. National Academy Press, Washington, D. C.
- Nielsen, F.H. 1984. Ultratrace elements in nutrition. *Ann. Rev. Nutr.* 4: 21-41.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO1999). 2001. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. In: M. L. I. Ochoa (ed.). Diario Oficial de la Federación. México. México. Pp. 1-58.
- Ohh, S.J., and J.Y. Lee. 2005. Dietary chromium-methionine chelate supplementation and animal performance. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 18: 898-907.
- Okada, S., H. Tsukada, H. and M. Tezuka. 1989. Effect of chromium (III) on nuclear RNA-synthesis. *Biol. Trace. Elem. Res.* 21: 35-39.
- Page, T.G., L.L. Southern, T.L. Ward, and D.L. Thompson. 1993. Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 71: 656-662.
- Panaite, T., A. Untea, R.D. Criste, C. Papuc, M. Ropota, and N.C. Predescu. 2013. Effect of the dietary chrome picolinate supplements given to fattening pigs on the quality parameters of the pig leg. *Lucrări Științifice-Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară, Seria Zootehnie.* 59: 66-71.
- Park, J.K., J.Y. Lee, B.J. Chae, and S.J. Ohh. 2009. Effects of different sources of dietary chromium on growth, blood profiles and carcass traits in growing-finishing pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 22: 1547-1554.
- Pechova, A., and L. Pavlata. 2007. Chromium as an essential nutrient: a review. *Veterinarni Medicina. Anim. Biol.* 52: 1-18.

- Ravindran, V. 2010. Aditivos en alimentación animal: Presente y Futuro. XXVI Curso de Especialización FEDNA. 26 p.
- Reeds, P.J. 2,000. Dispensable and indispensable amino acids for humans. *J. Nutr.* 130: 1850-1840.
- Rezaei, R., W. Wang, Z. Wu, Z. Dai, J. Wang, G. Wu. 2013. Biochemical and physiological bases for utilization of dietary amino acids by young pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4: 1-12.
- Rinderknecht, H. 1986. Pancreatic secretory enzymes. In: *The exocrine pancreas: biology, pathobiology and diseases.* Raven, New York, USA. pp. 83-163.
- Shanker, A., C. Cervantes, H. Loza-Tavera, and S. Avudainayagam. 2005. Chromium toxicity in plants. *Environ. Int.* 31: 739-753.
- Spears, J.W. 2019. Boron, Chromium, Manganese, and Nickel in Agricultural Animal Production. *Biol. Trace. Elem. Res.* 188: 35-44.
- Statistical Analysis System (SAS). 2019. *The SAS system for Windows Ver. 9.4* Institute, Cary, NC, USA.
- Steel, D.R.G., J.H. Torrie, and D.A. Dickey. 1997. *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach.* McGraw-Hill. New York, USA. 356 p.
- Stipanuk, M.H., I. Ueki, J.E. Dominy, C.R. Simmons, and L.L. Hirschberger. 2009. Cysteine dioxygenase: a robust system for regulation of cellular cysteine levels. *Amino acids.* 37: 55.
- Suryawan, A., P.M. O'Connor, P. M., J.A. Bush, H.V. Nguyen, and T.A. Davis. 2009. Differential regulation of protein synthesis by amino acids and insulin in peripheral and visceral tissues of neonatal pigs. *Amino acids.* 37: 97-104.
- Tang, L., D.F. Li, F.L. Wang, J.J. Xing, and L.M. Gong. 2001. Effects of different sources of organic chromium on immune function in weaned pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 14:1164-1169.
- Tian, Y.Y., L.Y. Zhang, B. Dong, J. Cao, J.X. Xue, and L.M. Gong. 2014. Effects of chromium methionine supplementation on growth performance, serum metabolites,

- endocrine parameters, antioxidant status, and immune traits in growing pigs. *Biol. Trace Elem. Res.* 162: 134-141.
- Toghyani, M., A. Khodami, and A.A. Gheisari. 2008. Effect of organic and inorganic chromium supplementation on meat quality of heat-stressed broiler chicks. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 3: 62-67.
- Untea, A.E., I. Varzaru, T.D. Panaite, M. Habeanu, M. Ropota, M. Olteanu, and G.M. Cornescu. 2017. Effects of chromium supplementation on growth, nutrient digestibility and meat quality of growing pigs. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 47: 332-341.
- Van-Dyke, R. 1989. Mechanisms of digestion and absorption of food. In: *Gastrointestinal disease, pathophysiology, diagnosis, management.* Johnson. Raven, New York, USA. 1780 p.
- Van-Heugten, E., and J.W. Spears. 1997. Immune response and growth of stressed weanling pigs fed diets supplemented with organic or inorganic forms of chromium. *J. Anim. Sci.* 75:409-416.
- Vincent, J. B. 2000. The biochemistry of chromium. *J. Nutr.* 130: 715-718.
- Vincent, J.B. 2004. Recent advances in the nutritional biochemistry of a trivalent chromium. *Proc. Nutr. Soc.* 63: 41-47.
- Wang, M.Q., and Z.R. Xu. 2004. Effect of chromium nanoparticle on growth performance, carcass characteristics, pork quality and tissue chromium in finishing pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 17: 1118-1122.
- Wang, J., L. Chen, P. Li, X. Li, H. Zhou, F. Wang, D. Li, D. Yin, and G. Wu. 2008. Gene expression is altered in piglet small intestine by weaning and dietary glutamine supplementation. *J. Nutr.* 138: 1025-1032.
- Wang, M.Q., Y. He, M.D. Lindemann, and Z.G. Jiang. 2009. Efficacy of Cr (III) supplementation on growth, carcass composition, blood metabolites, and endocrine parameters in finishing pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 22: 1414-1419.
- Wray-Cahen, D. 2001. Performance-enhancing substances. In: *Swine Nutrition.* 2nd ed. A.J. Lewis and L.L. Southern, editors. CRC Press, Washington, D.C. pp. 427-446.

- Wu, G., F.W. Bazer, W. Tuo, and S.P. Flynn. 1996. Unusual abundance of arginine and ornithine in porcine allantoic fluid. *Biol. Reprod.* 54: 1261-1265.
- Wu, G. 2009. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino acids.* 37: 1–17.
- Wu, G., F.W. Bazer, R.C. Burghardt, G.A. Johnson, S.W. Kim, X.L. Li, M.C. Satterfield, and T.E. Spencer. 2010. Impacts of amino acid nutrition on pregnancy outcome in pigs: mechanisms and implications for swine production. *J. Anim. Sci.* 88: 195-204.
- Wu, G, Z.L. Wu, and Z.L. Dai. 2013. Dietary requirements of "nutritionally non-essential amino acids" by animals and humans. *Amino Acids.* 44: 1107–1113.
- Xi, G., Z.R. Xu, S.H. Wu, and S.J. Chen. 2001. Effect of chromium picolinate on growth performance, carcass characteristics, serum metabolites and metabolism of lipid in pigs. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 14: 258-262.
- Yao, Y.T., Y.Z. Li, D. Bing, C. Jun, X.X. Jian, and M.G. Li. 2014. Effects of chromium methionine supplementation on growth performance, serum metabolites, endocrine parameters, antioxidant status, and immune traits in growing pigs. *Biol. Trace. Elem. Res.* 162: 134-141.
- Yao, Y.T., M.G. Li, X.X. Jian, C. Jun, and Y.Z. Li. 2015. Effects of graded levels of chromium methionine on performance, carcass traits, meat quality, fatty acid profiles of fat, tissue chromium concentrations, and antioxidant status in growing-finishing pigs. *Biol. Trace. Elem. Res.* 168: 110-121.
- Yin, F.G., Y.L. Liu, Y.L. Yin, X.F. Kong, R.L. Huang, T.J. Li, G.Y. Wu, and Y. Hou. 2009. Dietary supplementation with *Astragalus* polysaccharide enhances ileal digestibilities and serum concentrations of amino acids in early weaned piglets. *Amino Acids.* 37: 263-270.