

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**ENRIQUECIMIENTO DE DIETAS PARA CERDOS EN  
ESTRÉS POR CALOR CON AMINOÁCIDOS LIBRES O  
UNIDOS A PROTEÍNA: RESPUESTA PRODUCTIVA Y  
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL**

**TESIS**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**PRESENTA:**

**MIGUEL CHAVEZ ESPINOZA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**Dr. MIGUEL CERVANTES RAMÍREZ**

**MEXICALI, BAJA CALIFORNIA**

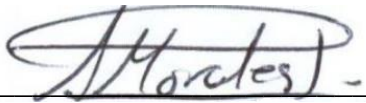
**FECHA: MARZO, 2018**

La presente tesis titulada “**Enriquecimiento de dietas para cerdos en estrés por calor con aminoácidos libres o unidos a proteína: respuesta productiva y características de la canal**”, fue realizada por C. Miguel Chávez Espinoza bajo la dirección del Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de: **MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

### COMITÉ PARTICULAR

DIRECTOR 

Dr. Miguel Cervantes Ramírez

SINODAL 

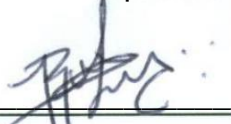
Dra. Adriana Morales Trejo

SINODAL 

Dr. Ernesto Avelar Lozano

SINODAL 

MC Salvador Espinoza Santana

SINODAL 

Dra. Reyna Lucero Camacho Morales

POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE

Ejido Nuevo León, Mexicali Baja California, México; Marzo de 2018.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su financiamiento económico para llevar a cabo mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Baja California y al Instituto de Ciencias Agrícolas por apoyarme realizar mis estudios de maestría.

Al Dr. Miguel Cervantes Ramírez por su dirección y asesoría del presente trabajo de investigación, así como por la confianza y facilidades prestadas durante mi estancia en el ICA-UABC y la oportunidad de visitar la University of Alberta.

A la Dra. Adriana Morales Trejo, por su tiempo, observaciones y sugerencias durante mi estancia en el ICA-UABC, así como para para la redacción del presente documento.

Al Dr. Ernesto Avelar Lozano, por su apoyo y amistad desde el inicio de mi estancia en el ICA-UABC, además de sus sugerencias en la revisión de la redacción de este documento.

A la Dra. Reyna Lucero Camacho Morales, por sus observaciones y sugerencias para para la redacción del presente documento.

Al M.C. Salvador Espinoza Santana, por las facilidades prestadas en la selección de cerdos para este proyecto en la Unida Experimental Porcina del ICA-UABC y sus sugerencias en la revisión de la redacción de este documento.

Al PhD. Ruurd T. Zijlstra, por recibirme en su grupo de trabajo durante mi estancia en la University of Alberta.

A los compañeros del CANA, RTZ group y al STAFF del SRTC, por su apoyo y amistad.

## **DEDICATORIA**

- A mi madre Margarita Espinoza Contreras y a mi padre Miguel Chávez Ocegüera, por darme la oportunidad de estudiar y su ayuda durante toda mi vida.
- A mis hermanos; Clarisa, Eduardo y Fernando por su apoyo.
- A Mariana Camacho Rodríguez por su gran cariño y apoyo durante todo este tiempo.

## CONTENIDO

COMITÉ PARTICULAR.....	I
AGRADECIMIENTOS .....	II
DEDICATORIA .....	III
CONTENIDO .....	IV
ÍNDICE DE CUADROS .....	VI
ÍNDICE DE FIGUERAS .....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS .....	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT .....	XII
I. INTRODUCCION.....	13
II. REVISION DE LITERATURA .....	14
2.1. Efecto del estrés por calor en la producción de cerdos.....	14
2.3. Aspectos generales de la absorción de aminoácidos .....	18
2.4. Síntesis de proteína muscular.....	20
2.5. Uso de Aminoácidos libres.....	21
III. JUSTIFICACIÓN .....	24
IV. HIPÓTESIS.....	25
V. OBJETIVOS .....	26
5.1. Objetivo general.....	26
5.1. 1. Objetivos específicos .....	26
VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
6.1. Localización .....	27
6.2. Animales, dieta y diseño experimental.....	27
6.3. Toma de muestras de sangre, sacrificio y disección de canales .....	29
6.4. Análisis estadístico.....	30

VII. RESULTADOS.....	31
7.1. Temperatura ambiental y Humedad.....	31
7.2. Parámetros productivos .....	32
7.3. Características de la canal y vísceras.....	33
7.4. Concentración de aminoácidos en suero .....	38
VIII. DISCUSIÓN .....	41
IX. CONCLUSIÓN .....	47
X. LITERATURA CITADA.....	48

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b>	Clasificación nutricional de aminoácidos en cerdos .....	18
<b>Cuadro 2.</b>	Dietas experimentales.....	28
<b>Cuadro 3.</b>	Peso vivo, ganancia de peso (GDP), consumo voluntario de alimento (CVA) y eficiencia alimenticia (EA; kg), de los cerdos después de estar expuestos a las condiciones de EC y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre(ECxAA).....	33
<b>Cuadro 4.</b>	Peso de la canal y algunos cortes principales de los cerdos sacrificados tanto al principio y después de estar expuesto a las condiciones de EC y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA).....	34
<b>Cuadro 5.</b>	Ganancia diaria de peso (g/d) de la canal y algunos cortes principales de los cerdos sacrificados después de estar expuestos a las condiciones de EC y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA).....	35
<b>Cuadro 6.</b>	Peso inicial y final de las vísceras de los cerdos sacrificados tanto al principio y después de estar expuestos a las condiciones de EC y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA).....	37
<b>Cuadro 7.</b>	Ganancia diaria de peso (g/d) de las vísceras de los cerdos sacrificados después de estar expuestos a las condiciones de EC y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA).....	38

<b>Cuadro 8.</b>	Concentraciones séricas ( $\mu\text{g}$ / $\mu\text{L}$ ) de aminoácidos esenciales en etapa postprandial en cerdos expuestos a condiciones de estrés por calor y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA).....	39
<b>Cuadro 9.</b>	Concentraciones séricas ( $\mu\text{g}$ / $\mu\text{L}$ ) de aminoácidos no esenciales en etapa postprandial en cerdos expuestos a condiciones de estrés por calor y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA).....	40



## ÍNDICE DE FIGUERAS

<b>Figura 1.</b>	Humedad % - Temperatura ° C durante el periodo experimental...	30
<b>Figura 2.</b>	Índice de calor promedio por día.....	31
<b>Figura 3.</b>	Cambio relativo en las fracciones del canal en cerdos alimentados con dietas con exceso de aminoácidos unidos a proteína (ECxP) o en forma libre (ECxAA), en comparación con los cerdos alimentados con una dieta estándar (CON).....	43
<b>Figura 4.</b>	Cambio relativo en las concentraciones séricas de aminoácidos esenciales en cerdos alimentados con dietas con exceso de aminoácidos unidos a proteína (ECxP) o en forma libre (ECxAA), en comparación con los cerdos alimentados con una dieta de estándar (CON).....	45
<b>Figura 5.</b>	Cambio relativo en las concentraciones séricas de aminoácidos no esenciales en cerdos alimentados con dietas con exceso de aminoácidos unidos a proteína (ECxP) o en forma libre (ECxAA), en comparación con los cerdos alimentados con una dieta de estándar (CON).....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS

AA.-	Aminoácidos
ATP. -	Adenosín trifosfato
ARNm. -	Ácido ribonucleico mensajero
B <sub>0</sub> .-	Transportador de aminoácidos neutros dependiente de sodio
b <sup>0+</sup> . -	Transportador de AA catiónicos y neutros independiente de sodio
CAT-1.-	Transportador de aminoácidos catiónicos
CVA. -	Consumo voluntario de alimento
CS. -	Concentración en suero
E: A. -	Eficiencia alimenticia
EC.-	Estrés por calor
Exp. -	Experimento
GDP. -	Ganancia diaria de peso
GLUT 4.-	Transportador de glucosa tipo 4
PC. -	Proteína cruda
SGLT 1.-	Cotransportador de glucosa y sodio
TA. -	Temperatura ambiental
y <sup>+</sup> L.-	Transportador de aminoácidos catiónicos y neutros
Arg. -	Arginina
His. -	Histidina
Iso. -	Isoleucina
Leu. -	Leucina
Lis. -	Lisina
Met. -	Metionina
Fen. -	Fenilalanina
Tre. -	Treonina

Trp. -	Triptófano
Val. -	Valina
Ala. -	Alanina
Asn. -	Asparagina
Asp. -	Ácido Aspártico
Gln. -	Glutamina
Glu. -	Ácido Glutámico
Gli. -	Glicina
Pro. -	Prolina
Ser. -	Serina
Tis. -	Tirosina

## RESUMEN

Se realizó un experimento para estudiar el efecto de enriquecer dietas para cerdos en estrés por calor (EC) con aminoácidos (AA) libres o unidos a proteína. Se utilizaron 21 cerdos ( $33.6 \pm 0.65$  kg PV inicial) asignados aleatoriamente a 3 tratamientos (T) de acuerdo con un diseño de bloques completos al azar. Los tratamientos fueron: T1) dieta estándar en EC (CON); T2) dieta estándar + 25 % de proteína intacta en EC (ECxP); T3) estándar + 25% de AA libres en EC (ECxAA). La alimentación se ofreció *ad libitum*. Al final del experimento, 4 cerdos de cada tratamiento fueron sacrificados y se registró el peso de los órganos viscerales, algunos cortes principales (lomo y pierna), y se tomaron muestras de sangre para medir la concentración de AA en el suero. Además, se sacrificaron cuatro cerdos con un PV similar al PV inicial de los animales utilizados en el experimento de comportamiento. La temperatura ambiente registrada durante el experimento fluctuó entre 23.7 y 41.3 °C. En comparación con la dieta CON, los cerdos con la dieta ECxP tendieron a mostrar mayor eficiencia alimenticia (EA) ( $P < 0.10$ ) y peso de riñones; los cerdos con la dieta ECxAA tuvieron mayor ganancia de peso (GDP), EA y peso del bazo ( $P < 0.05$ ). El peso del músculo del lomo y del bazo fue mayor en los cerdos ECxAA que los ECxP. La concentración sérica de AA esenciales a 10 h postprandial fue más alta en cerdos del tratamiento ECxAA, Arg ( $P = 0.003$ ), His ( $P = 0.012$ ), Leu ( $P < 0.001$ ), Lys ( $P < 0.001$ ), Met ( $P = 0.050$ ), Phe ( $P = 0.003$ ), Thr ( $P < 0.001$ ), Trp ( $P = 0.015$ ), y Val ( $P < 0.001$ ), en cuanto a los AA no esenciales tuvo un efecto del tratamiento ECxP, incrementado la CS de los AA, Asp ( $P = 0.037$ ) y Tyr ( $P = 0.030$ ). Estos datos indican que enriquecer la dieta con AA en forma libre puede mejorar la eficiencia productiva, con el aumento del tamaño de los músculos de la pierna y el lomo de cerdos en estrés por calor.

**Palabras clave:** cerdos, estrés por calor, proteína, aminoácidos

## ABSTRACT

An experiment was conducted to study the effect of fortifying diets with free or protein bound amino acids (AA) for pigs under heat stress (HS). At the beginning, four pigs with an initial BW like those used in the test were slaughtered, for the test 21 pigs ( $33.6 \pm 0.65$  kg initial BW) were used, which were grouped under a randomized complete block design, and were distributed in 3 treatments (T), which were: T1) standard diet (CON); T2) standard + 25% intact protein in HS (ECxP); T3) standard + 25% free AA in HS (ECxAA). The feeding was offered ad libitum. The ambient temperature fluctuated between 23.7 and 41.3 ° C. At the end of the experiment, 4 pigs of each treatment were sacrificed as at the beginning of the study; the weight of the visceral organs was recorded, some important cuts; Loin and leg, and blood samples were taken to measure the concentration in serum of AA. Compared to the CON diet, pigs with the ECxP diet tended to show higher feed:gain efficiency (F:G) and weight of kidneys ( $P < 0.10$ ); the pigs with the ECxAA diet had greater weight gain (ADG), the F:G ratio and spleen weight ( $P < 0.05$ ). The spleen weight and loin muscle weight were higher in ECxAA pigs than ECxP pigs. The serum concentration of essential AA was higher in the ECxAA treatment at  $\geq 10$  h postprandial Arg ( $P = 0.003$ ), His ( $P = 0.012$ ), Leu ( $P < 0.001$ ), Lys ( $P < 0.001$ ), Met ( $P = 0.05$ ), Phe ( $P = 0.003$ ), Thr ( $P < 0.001$ ), Trp ( $P = 0.015$ ), and Val ( $P < 0.001$ ), as for non-essential AA had was higher in the ECxP treatment on Asp ( $P = 0.037$ ) and Tyr ( $P = 0.030$ ). These data indicate that the extra incorporation of AA into the diet in free form can improve the productive efficiency, with the increase of the leg and the loin muscles of heat stress pigs.

**Key words:** pig, heat stress, protein, amino acid.

## I. INTRODUCCION

La carne es el principal producto de la industria porcina y tiene una posición competitiva contra otras fuentes de proteína (Patience *et al.*, 2015). Anualmente, en México se generan más de un millón de toneladas de carne de cerdo (FIRA, 2016), sin embargo, esta producción se lleva a cabo mayormente en estados donde la temperatura en el verano está por encima de la temperatura de confort (Bobadilla-Soto *et al.*, 2010).

Cervantes *et al.*, (2016) sugieren de acuerdo con una estimación a partir de los modelos de St-Pierre *et al.* (2003) que en México se pierden 5 kg por cabeza y se tienen 0.5 % de muertes asociadas al estrés por calor en cerdos (EC), por lo que las pérdidas económicas por EC en México llegarían a los 100 millones de dólares al año.

Las pérdidas económicas de la industria porcina causadas por el EC, generalmente se deben a la baja eficiencia de crecimiento, el aumento de los costos de atención de la salud, aumento de la mortalidad y la disminución del valor de la canal (aumento de los lípidos y disminución de la proteína), lo que dificulta la producción (Baumgard y Rhoads, 2013).

El proporcionar proteínas de origen animal de alta calidad, como las de la carne de cerdo, para la alimentación humana es la esencia principal de la producción animal. Además es importante tomar en cuenta que el EC en los cerdos reduce la disponibilidad del uso de los AA para la síntesis de proteínas corporales (Cervantes *et al.*, 2016), por lo tanto es importante desarrollar nuevas estrategias de alimentación, para mantener una producción de carne de cerdo eficiente.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Efecto del estrés por calor en la producción de cerdos

El trabajo de Stahly y Cromwell (1979), ya había demostrado el efecto de la temperatura ambiental (TA) sobre la eficiencia y la velocidad crecimiento de los cerdos cuando estos son criados en temperaturas críticas. La TA alta afecta el metabolismo de los animales, y dependiendo de su naturaleza química y física los nutrientes también producirán calor (Noblet *et al.*, 1994), lo que resulta en estrés por calor (EC). En consecuencia, se ha observado que el EC genera cambios en la fisiología, metabolismo y comportamiento de los animales (Patience *et al.*, 2005), y que su efecto en la respuesta del cerdo depende de la magnitud y la duración del mismo (Renaudeau *et al.*, 2008). Por ejemplo los cerdos expuestos a temperatura de 32 °C a 36 °C bajan 120 g/d de consumo voluntario de alimento (CVA) (Renaudeau *et al.*, 2008). Entonces, la reducción del CVA es el impacto más notorio y costoso que el EC tiene en cerdos en crecimiento-finalización. Los cerdos expuestos a alta TA pueden reducir su CVA entre un 20% y un 50% en relación a los valores estimados del NRC (2012), lo cual afecta su velocidad de crecimiento (Huynh *et al.*, 2005; Pearce *et al.*, 2013; Pearce *et al.*, 2014). Se ha calculado que el número de visitas al comedero bajan y el CVA de los cerdos disminuye alrededor de 40 a 80 g / d por cada °C de aumento en TA entre 19-29 °C (Quiniou *et al.*, 2000). La ganancia diaria promedio de cerdos con EC fue 11,4% menor que la de los cerdos en confort. Por lo tanto, factores como la expresión alterada de transportadores catiónicos de aminoácidos y de proteínas de choque térmico HSP-90, distintos a la reducción del CVA contribuyeron con alrededor del 33% de la reducción de la ganancia media diaria de peso en cerdos con EC (Morales *et al.*, 2014). Con el aumento de la TA, la frecuencia respiratoria, el ritmo cardíaco, el flujo de sangre periférica y la temperatura corporal también aumentan (Huynh *et al.*, 2005; Wilson yCrandall, 2012). Esos cambios están dirigidos a promover una pérdida de calor al ambiente y para reducir el calor producido dentro del cuerpo (Bernabucci *et al.*, 2010), además la dificultad de eliminar calor al ambiente aumenta en condiciones de temperatura elevada (Hao *et al.*, 2014). En esta condición también se ha observado una reducción del flujo sanguíneo a los órganos internos, ésta disminuye el suministro de

nutrientes y oxígeno a órganos internos, lo que en consecuencia podría alterar la integridad y función intestinal (Pearce *et al.*, 2014).

## 2.2. Efecto del estrés por calor en la función intestinal

El intestino delgado es muy importante para la absorción de nutrientes, este se divide en tres porciones, duodeno, yeyuno e íleon. En el cerdo al final de la etapa de crecimiento, el intestino delgado es de 16 a 21 m de largo, de los cuales 4 a 5% es duodeno, 88 a 91% de yeyuno y 4 a 5% de íleon (Yen, 2001).

El duodeno es el lugar donde la digesta del estómago se mezcla con las secreciones del intestino, del hígado y el páncreas. La bilis se canaliza en el duodeno en una papila mayor de 2 a 5 cm del píloro del estómago y el jugo pancreático entra en el intestino en una papila menor de 12 a 20 cm posterior a la entrada de la bilis. El yeyuno es largo y comprende un gran número de pequeños bucles. El íleon puede ser identificado a partir de yeyuno por sus capas musculares ligeramente más gruesas y la unión con el intestino grueso. La pared del intestino delgado consta de cuatro capas principales: la mucosa, la submucosa, la muscular y la serosa. La capa mucosa está compuesta de tres subcapas, la muscular de la mucosa, lámina propia y epitelio (Yen, 2001). La lámina propia está compuesta de vasos sanguíneos, linfocitos libres, nódulos linfáticos (parches de Peyer) y neuronas unidas por tejidos conectivos (Yen, 2001). En un estudio donde se expusieron cerdos a 40 °C de temperatura ambiental, la lámina propia sufrió lesiones severas (Liu *et al.*, 2009). La lámina propia sostiene la estructura de la capa epitelial y nutre el epitelio. La capa epitelial es una lámina continua de células epiteliales de una sola capa y cubre las vellosidades y sus criptas circundantes de Lieberkuhn, para formar la superficie luminal del intestino. La longitud de las vellosidades aumenta de duodeno a mediados de yeyuno y luego disminuye a través del íleon terminal. Existen tres tipos de células epiteliales en la superficie de las vellosidades: células absorbentes o enterocitos, células caliciformes ( donde se encuentran las células de Goblet, células encargadas de la producción de mucina para la protección de las



paredes intestinales (Plitzner *et al.*, 2007)) y células enteroendocrinas (Yen, 2001). Todas ellas proceden de las células madre ubicadas en la base de las criptas. La membrana apical cubre la superficie del enterocito frente a la luz intestinal y contiene las microvellosidades. La parte restante de la membrana plasmática de los enterocitos que no hace frente al lumen del intestino se denomina membrana basolateral (Yen, 2001). Los enterocitos emigran de las criptas a la punta de las vellosidades y son descamados en el lumen, este proceso aumenta su velocidad en cerdos en condiciones de estrés por calor (Lambert *et al.*, 2002).

Durante el proceso de migración, los enterocitos experimentan una maduración tanto estructural como funcional, que incluye un período de rápido alargamiento de las microvellosidades. Cuando los enterocitos migran sobre el tercio basal de las vellosidades, se completa su diferenciación estructural y comienza su función digestiva. La función de absorción de enterocitos comienza a desarrollarse cuando los enterocitos alcanzan el nivel superior al medio de las vellosidades y continúa aumentando hasta que los enterocitos se desprenden en la punta de las vellosidades (Yen, 2001).

Las microvellosidades aumentan la superficie apical de los enterocitos en aproximadamente 14 a 40 veces. Además de esta importante amplificación de la superficie de absorción digestiva por microvellosidades, el área transversal disponible del tracto intestinal se incrementa tres veces primero por los pliegues circulares de Kerkring y luego diez veces más por las vellosidades. Esta organización estructural amplifica y mejora la eficiencia para la digestión y absorción (Yen, 2001). El estrés por calor tiene un efecto negativo sobre la cripta y la altura de las vellosidades en el yeyuno dentro de los primeros 3 días de exposición (Yu *et al.*, 2010) además de pérdidas endógenas de arginina y treonina (Morales *et al.*, 2016b), aminoácidos asociados a la proliferación y salud de los enterocitos. También el duodeno fue dañado seriamente en el mismo periodo de tiempo, aunque aparenta haber un proceso de recuperación a partir de 6 días de exposición al estrés por calor (Liu *et al.*, 2009).

Además de los daños mencionados a los enterocitos, un análisis de la expresión génica reveló que 203 genes se expresaban diferencialmente en respuesta al estrés por calor (Yu *et al.*, 2010). Por ejemplo, a nivel celular la absorción de nutrientes se realiza por varios sistemas de proteínas transportadoras, que varían en capacidad, especificidad y sustratos (Bröer, 2008). Estas proteínas reconocen a los aminoácidos, se unen y los transportan de la luz intestinal al interior de la célula o viceversa. El EC severo provocado por la TA alta afectó la abundancia de ARNm de transportadores de aminoácidos b<sup>0+</sup> y CAT-1 en el yeyuno y el hígado, la expresión de miosina en el músculo *semitendinosus*, la HSP-90 (proteína de choque térmico) en el hígado y la leptina en tejido adiposo (Morales *et al.*, 2014).

También se ha comprobado el aumento de otras proteínas HSP y un efecto negativo en el metabolismo de glucosa (Pearce *et al.*, 2012). La glucosa se transporta al enterocito contra su gradiente de concentración por un co-transportador dependiente de Na<sup>+</sup>, principalmente los sistemas SGLT1 en células epiteliales (Shirazi-Beechey *et al.*, 2011) y GLUT4 en células musculares (Aschenbach *et al.*, 2009), respectivamente y se ha reportado un aumento en su expresión en cerdos en EC, como un mecanismo para compensar la falta de glucosa consumida (Cervantes *et al.*, 2016). Además, la enzima piruvato quinasa y el AMPK (proteína quinasa activada con adenosín monofosfato) considerado un factor clave en la glucólisis se ve afectado en condiciones de EC y se asocia a la acumulación de ácido láctico el cual tiene un efecto negativo en la conservación de la canal (Hao *et al.*, 2014).

Por lo anterior, los cerdos en condiciones de EC parecen tener menos células de absorción, y por tanto menos transportadores de nutrientes, que pueden afectar la absorción de aminoácidos y otros nutrientes ofrecidos en la dieta, así como el uso de estos para enfrentar el EC. La suma de todos los factores antes mencionados puede traducirse en una reducción de la disponibilidad de aminoácidos y en consecuencia en la síntesis de proteína para crecimiento por parte de los cerdos y una producción deficiente.

### 2.3. Aspectos generales de la absorción de aminoácidos

Los aminoácidos son los componentes básicos de la proteína, que están compuestos por un grupo amino (-NH<sub>2</sub>), un grupo carboxilo (-COOH) y una cadena lateral específica para cada AA. Las proteínas son polímeros de AA donde el grupo carboxilo de un AA reacciona con el grupo amino de otro AA (van Milgen y Dourmad, 2015), para unirse entre sí mediante enlaces covalentes. Las proteínas son constituyentes orgánicos con diferentes funciones biológicas como, por ejemplo, hormonas, enzimas y la construcción del tejido muscular. Las proteínas están formadas a partir de 20 AA que han sido clasificados en esenciales y no esenciales (Cuadro 1). Los AA no esenciales son aquellos que en este caso el cerdo puede sintetizar y no tienen que ir estrictamente incluidos en la dieta, en cambio los AA esenciales son aquellos que el cerdo no puede sintetizar o no puede sintetizarlo en las cantidades necesarias y debe ser incluido (Wu, 2009).

**Cuadro 1.** Clasificación nutricional de aminoácidos en cerdos

Esenciales	No esenciales
Arginina	Alanina
Histidina	Asparagina
Isoleucina	Ácido aspártico
Leucina	Cisteína
Lisina	Ácido glutámico
Metionina	Glutamina
Fenilalanina	Glicina
Treonina	Prolina
Triptófano	Serina
Valina	Tirosina

Los aminoácidos son proporcionados en la dieta, y la manera en la que se incluyen puede ser a base proteína intacta o suplementada con AA libres, la fuente de proteína necesita ser digerida con el fin de liberar sus AA de modo que estén disponibles para la absorción en el intestino delgado. Cuando los cerdos consumen proteínas en su mayoría intactas, la mayor parte de la absorción de AA se lleva a cabo a mediados de intestino delgado o el yeyuno (Silk *et al.*, 1985), ya que casi no hay AA libres disponibles en la parte proximal del intestino delgado, duodeno.

Sin embargo, los cerdos en condiciones de estrés por calor reducen la digestibilidad de los nutrientes (Hao *et al.*, 2014), por lo que la absorción de aminoácidos disminuye. Por ejemplo, la absorción de lisina (Lis) se vuelve más crítica en los cerdos en EC, ya que su requerimiento en la dieta es el más alto (Mahan y Shields, 1998) y es el primer aminoácido limitante en la mayoría de los alimentos. La Lis es llevada a través los sistemas de transportadores, b<sup>0,+</sup> y CAT-1 (Majumder *et al.*, 2009). El transportador de aminoácidos catiónicos b<sup>0,+</sup> facilita su intercambio por aminoácidos neutros, especialmente Leucina (Bröer, 2008), se expresa principalmente en las células epiteliales (Torras-Llort *et al.*, 2001) y el CAT-1 se expresa de forma ubicua, con excepción en algunas ocasiones en las células del hígado de adultos (Hatzoglou *et al.*, 2004). La respuesta aguda de los cerdos en EC se asoció con una expresión reducida de b<sup>0,+</sup> y la concentración sérica de Lis, y el aumento de la expresión de HSP-90 en los cerdos (Morales *et al.*, 2014). El transportador y<sup>+L</sup> ubicado en la membrana basolateral del enterocito transporta AA catiónicos (Bröer, 2008) y ve afectada su expresión en dietas bajas en proteína (Wang *et al.*, 2017). El transportador de AA B<sub>0</sub> neutro está ubicado exclusivamente en la membrana apical del enterocito y tiene preferencia por Leu, Ile y Val (Bröer, 2008), que son importantes AA que participan en la regulación de la síntesis de proteínas (Miyazaki y Esser, 2009). Dada la reducción de la capacidad de absorción de células epiteliales en cerdos en EC, existe una reducción en la síntesis de proteína muscular y, por consecuencia, lento crecimiento.

## 2.4. Síntesis de proteína muscular

La síntesis de proteínas es el proceso en el cual el cuerpo utiliza los aminoácidos para construir el tejido muscular. La disponibilidad de aminoácidos a nivel celular regula la actividad de mTOR, que es un complejo que en las etapas de síntesis de proteína, regula los factores de traducción que son activados o desactivados por alteraciones moleculares y estructurales provocadas por su fosforilación (Boukhattala *et al.*, 2012). Durante el periodo de crecimiento se incrementa la demanda de aminoácidos para la síntesis de proteína que mayormente se deposita en el tejido muscular (Schinckel y De Lange, 1996). La dieta es el vehículo con el cual podemos satisfacer esta demanda, pues se ha demostrado que la dieta afecta la concentración sérica (CS) de aminoácidos en el plasma sanguíneo de donde son tomados por las células musculares para el desarrollo de sus funciones (Shikata *et al.*, 2007).

La síntesis y degradación continua de proteína a nivel celular ocurre gracias al recambio de proteínas que determina su balance en los tejidos, pero requiere grandes cantidades de ATP. Este ciclo metabólico tan costoso cumple funciones clave obligatorias, incluyendo la homeostasis de proteínas, la renovación celular, la eliminación de proteínas envejecidas y dañadas, la síntesis de proteínas de choque térmico, la gluconeogénesis, la reparación de tejidos, la adaptación a alteraciones nutricionales y las respuestas inmunes (Wu, 2009). Estudios clásicos como el de (Stahly y Cromwell, 1979) ya describían como la temperatura ambiental alta tenía un efecto negativo sobre la conformación de los canales de los cerdos, por lo que en la actualidad a pesar de que los genotipos usados para producción porcina tienen el potencial para ganar músculo y tener una baja acumulación de grasa, parecen tener más problemas en condiciones de EC (Ross *et al.*, 2015). Al bajar la disponibilidad de los AA proporcionados en la dieta de cerdos en EC, también se reduce su capacidad para formar proteínas corporales (Rhoads *et al.*, 2013). Dado que cada proteína del organismo tiene un perfil de aminoácidos característico y una tasa de síntesis y degradación (Mahan y Shields, 1998), se espera que las dietas bajas en proteínas tiendan a reducir el músculo *longissimus dorsi* por un efecto en el sistema de señalización de mTOR (Wang *et al.*, 2017). En consecuencia, la adecuada

suplementación de AA en la dieta tendrá efecto positivo en el funcionamiento de mTOR. Por ejemplo, se ha observado que leucina evita la degradación de proteínas en músculo esquelético (Nakashima *et al.*, 2007; Amaoka *et al.*, 2008). A pesar de no ser un AA esencial la glutamina ha demostrado que también estimula la síntesis de proteínas, pues inhibe la proteólisis en las células mucosas del intestino delgado (Coëffier *et al.*, 2003); y arginina activa mTOR y otras vías de señalización mediadas por quinasas en células epiteliales intestinales estimulando la síntesis de proteínas, aumentando la migración celular y facilitando la reparación del epitelio intestinal dañado (Huynh *et al.*, 2006; Rhoads *et al.*, 2006).

Por lo tanto, la inclusión de AA libres en dietas bajas en proteínas se presenta como una estrategia útil, para cubrir las necesidades de AA de los cerdos, pues como se ha demostrado, aumentan la expresión de transportadores (Wu, 2015), efecto que ayudaría a disminuir el impacto del estrés por calor y mantener una producción eficiente.

## 2.5. Uso de Aminoácidos libres

La alimentación animal, que normalmente se basa en maíz, trigo o cebada, es pobre en lisina. La suplementación de estos ingredientes con una fuente rica en lisina libre o cristalina es una práctica que tiene muchos años de uso (Wittmann y Becker, 2007), y se está volviendo cada vez más importante ya que su uso mejora la eficiencia alimenticia de los cerdos (Huynh *et al.*, 2006; Rhoads *et al.*, 2006), Lis y otros AA libres pueden asegurar el suministro de AA al plasma sanguíneo para el crecimiento muscular (Liao *et al.*, 2015), esto conduce a un crecimiento óptimo de los cerdos. Actualmente no solo se dispone de lisina en grado alimenticio, sino también otros aminoácidos como Tre, Met y Trp los cuales se encuentran disponibles en el mercado, estos AA pueden incluirse en las dietas para eliminar excesos de algunos AA, además de que se comercializan con precios relativamente accesibles para ser incluidos en las dietas de los cerdos.

Muchos trabajos han estudiado el efecto de los aminoácidos en los parámetros productivos y las emisiones de N al ambiente (Lewis, 2001), y otros su

efecto en la expresión génica. Por ejemplo, se ha encontrado que los AA libres en la dieta aumentan la expresión del transportador catiónico AA  $b^{0,+}$  en duodeno, lo que a su vez incrementó la concentración de lisina en suero, sin embargo no tuvo ningún efecto sobre la expresión de  $y^+ L$  en duodeno; tampoco en el transportador de AA neutro  $B_0$  en ninguno de los 3 segmentos intestinales (Morales *et al.*, 2015).

Lo anterior explica cómo el uso de lisina y otros AA libres en cerdos alimentados con dietas a base trigo-pasta de soya se puede disminuir de un 3% hasta un 8% la PC de la dieta (Wu, 2015; Morales *et al.*, 2015). La suplementación de AA libres en dietas con 12% de PC ha demostrado rendimientos similares a aquellos con dietas con 16 % de PC en condiciones de estrés por calor pero con menos eliminación de N y una menor producción de calor (Kerr *et al.*, 2002).

El enriquecer las dietas con altos niveles de PC, con la intención de proveer más AA a los cerdos se ha mostrado como una limitante al CVA (Henry *et al.*, 1992). Además, las dietas altas en proteína causan un mayor producción de calor corporal, por lo que los cerdos en EC reducen su consumo como respuesta a esto, por esta razón el manejo del contenido de proteína intacta se presenta como una estrategia nutricional para cubrir los requerimientos de los cerdos (Cottrell *et al.*, 2015). Es decir, al aumentar el nivel de AA libres y reducir el contenido de proteína intacta en la dieta puede aumentar el área de absorción intestinal, que a su vez pueden ayudar a superar la disponibilidad AA reducida, observada en los cerdos en EC.

La sustitución de aminoácidos unidos a proteína por AA libres en las raciones conduce a la formulación de una dieta con proteína ideal, este concepto que ha sido propuesto hace más de 50 años por Mitchell (1962), sigue siendo muy relevante. Se refiere a una situación en la que todos los AA esenciales son co-limitantes para el rendimiento de modo que el suministro de AA coincide exactamente con el requisito de AA. Los requisitos para AA en proteína ideal se expresan normalmente en relación con el requisito de Lis (es decir, Lis = 100%).

La expresión relativa a Lis es muy útil desde un punto práctico. Como se mencionó antes la lisina es típicamente el primer AA limitante en las dietas para los cerdos. Por lo anterior, lisina ha recibido la mayor atención de los nutricionistas y se han realizado considerables investigaciones para describir los requerimientos de Lis durante el crecimiento. Si los requisitos para los otros AA son impulsados principalmente por su necesidad para síntesis de proteínas, el requisito de éstos debe ser relativamente constante en relación con Lis (van Milgen y Dourmad, 2015). Así, la reducción en el gasto de energía para disponer el exceso de AA lograría aumentar la eficiencia de crecimiento magro de cerdos en EC y disminuir las excreciones de nitrógeno al ambiente, que se tiene en dietas alta en proteína intacta.



### III. JUSTIFICACIÓN

La mayoría de los estudios relacionados con EC se han realizado con los cerdos expuestos a alta TA artificial y constante, inmediatamente después de haber sido mantenido bajo condiciones termoneutrales. Sin embargo, la producción porcina en el mundo se lleva a cabo principalmente en las zonas donde la temperatura ambiente durante los meses de verano está por encima de la zona termo- neutral.

Por lo que debido a los cambios metabólicos y fisiológicos resultantes de la exposición de los cerdos a TA alta, causan una baja eficiencia de crecimiento y disminución en la acumulación de proteína corporal, que se traduce en una pérdida de calidad de la canal (Baumgard y Rhoads, 2013), por lo que enriquecer dietas estándar con AA unidos a proteína intacta, o en su forma libre (Cottrell *et al.*, 2015), siempre y cuando esto no tenga un efecto negativo adicional sobre el CVA, se presenta como una estrategia de alimentación para disminuir el impacto del EC, pues la dieta es el vehículo mediante el cual se proporcionan los nutrientes al cerdo y a su vez al plasma sanguíneo donde pueden ser tomados por las células para crecimiento y para la síntesis de proteína muscular y así mantener una producción eficiente.

#### **IV. HIPÓTESIS**

El enriquecer el suministro de AA en la dieta, tanto en forma de proteína intacta o en forma de AA libre puede ayudar a superar la disminución en la disponibilidad de AA causada por el bajo CVA en los cerdos en EC y a su vez mejorar su rendimiento productivo.

## V. OBJETIVOS

### 5.1. Objetivo general

Determinar el efecto de dietas enriquecidas con AA; tanto asociados a proteína intacta o en su forma de AA libres, sobre la respuesta productiva, características de la canal y la concentración sérica de AA en cerdos en crecimiento en condiciones de EC.

#### 5.1. 1. Objetivos específicos

Determinar si los cerdos alimentados con dietas enriquecidas con AA asociados a proteína intacta o con AA libres, mejoran la respuesta productiva causada por un CVA reducido en los cerdos en EC.

Determinar el efecto en la forma en que se incluyen los AA en una dieta enriquecida con AA asociados a proteína o como AA libres, sobre la respuesta productiva y el rendimiento en canal de cerdos en crecimiento en condiciones de EC.

Analizar el efecto de AA libres o asociado a proteína en la dieta sobre la concentración sérica de AA en cerdos expuestos a EC.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Localización

El experimento se llevó a cabo en la Unidad de Metabolismo y Fisiología del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma De Baja California (ICA-UABC), durante la estación más cálida del año, que va desde principios de mayo hasta finales de octubre de cada año. La temperatura media generalmente fluctúa de 20 a 45 °C, todos los días durante esta época del año. Los cerdos se alojaron individualmente en corrales de 1.2 × 1.2 m, dentro de una habitación sin control de la temperatura donde los cerdos están expuestos a las fluctuaciones diarias en la TA. Cada corral estuvo equipado con un comedero de un solo orificio y un bebedero de boquilla. La TA y la humedad relativa se registraron cada 15 minutos con la ayuda de higrotermógrafos (Thermotracker, Inc.) instalados para calcular con estas mediciones el índice de calor de acuerdo con la ecuación de Rothfusz (1990).

### 6.2. Animales, dieta y diseño experimental

Los cerdos utilizados en este experimento se manejaron siguiendo las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana en cuidado animal (Ochoa, 2001). Se emplearon 21 cerdos cruzados (Landrace x Yorkshire x Duroc), con un peso corporal inicial de  $33.6 \pm 0.6$  kg, distribuidos aleatoriamente en tres grupos en función del peso corporal inicial, el sexo y la camada. Cada grupo de 7 cerdos fue asignado a un tratamiento (T): Tratamiento 1.- cerdos alimentados con una dieta estándar en EC, (CON); Tratamiento 2.- cerdos en EC alimentados con una dieta estándar enriquecida con 25% más de proteína a cruda usando pasta de soya (ECxP); y Tratamiento 3.- cerdos en EC alimentados con una dieta estándar enriquecida con 25% más aminoácidos libres (ECxAA). Las dietas fueron formuladas para cubrir el requerimiento de los cerdos en esa etapa de crecimiento (NRC, 2012). El agua y alimento se ofrecieron *ad libitum*, a todos los cerdos. El experimento tuvo una duración de 21 días.

**Cuadro 2.** Composición de las dietas experimentales <sup>a</sup>.

Ingrediente	CON	ECxP	ECxAA
Trigo	86.64	76.14	85.5
Pasta de soya, 48%	10	20.5	10
L-Lis HCl	0.56	0.56	0.88
L-Tre	0.14	0.14	0.29
DL-Met	0.06	0.06	0.18
L-Trp	-	-	0.03
L-Fen	-	-	0.08
L-Leu	-	-	0.18
L-Ile	-	-	0.07
L-His	-	-	0.05
L-Val	-	-	0.14
CaCO <sub>3</sub>	1.4	1.4	1.4
Ortofosfato	0.65	0.65	0.65
Sal iodada	0.35	0.35	0.35
Vit. -Min <sup>b</sup> .	0.2	0.2	0.2
Contenido calculado			
EN, MJ/kg <sup>c</sup>	10.02	9.88	10.1
PC, %	15.1	18.98	16.05
SID <sup>d</sup> Arg	0.85	1.14	0.84
SID His	0.38	0.47	0.42
SID Ile	0.57	0.73	0.63
SID Leu	1.06	1.31	1.23
SID Lis	0.98	1.23	1.22
SID Met	0.28	0.36	0.4
SID Met + Cis	0.57	0.68	0.69
SID Fen	0.71	0.88	0.79
SID Tre	0.59	0.73	0.74
SID Trp	0.18	0.23	0.21
SID Val	0.66	0.82	0.8

<sup>a</sup> Dietas: CON, dieta estándar; ECxP, dieta estándar enriquecida con +25 % de aminoácidos unidos a proteínas; ECxAA, dieta estándar enriquecida con +25 % de aminoácidos libres.

<sup>b</sup> Suministrado por kg de dieta: Vit. A, 4,800 UI; Vit. D<sub>3</sub>, 800 UI; Vit. E, 4.8 UI; Vit. K<sub>3</sub>, 1.6 mg; riboflavina, 4 mg; Acido D- pantoténico, 7.2 mg; niacina, 16 mg; Vit. B<sub>12</sub>, 12.8 mg; Zn, 64 mg; Fe, 64 mg; Cu, 4 mg; Mn, 4 mg; I, 0.36 mg; Se, 0.13 mg. El premix fue proporcionado por Nutrionix, S.A., Hermosillo, México.

<sup>c</sup> Valores de EN(MJ/kg): Trigo, 10.50; Pasta de soya, 8.12 (Savant *et al.*,2004).

<sup>d</sup> SID= Digestibilidad ileal estandarizada

### 6.3. Toma de muestras de sangre, sacrificio y disección de canales

Durante el día 21 del inicio del experimento, después de 12 horas de ayuno (puesto que la alimentación fue retirada del corral la noche anterior a las 21:00 horas), todos los cerdos fueron alimentados con 700 grs de alimento a las 07:00 horas, 10 horas después de haber sido alimentados se colectó una muestra de sangre de cada cerdo (aproximadamente 10 mL) por medio de punción en la yugular. Estas muestras se centrifugaron a 1,000 x g, 4°C por 1 min para separar suero de células sanguíneas, posteriormente el suero fue almacenado a -20°C y empleado para analizar la CS de AA durante la etapa postprandial (fase post-absorción). El análisis de aminoácidos se hizo en la Universidad de Missouri, USA. Los AA se liberaron de la proteína por hidrolisis con 6 N HCl. El análisis de AA en suero se determinó por medio de HPLC con post-columna con ninhidrina. No se determinó Trp en este experimento.

Al inicio del experimento se sacrificaron 4 cerdos de PV inicial similar a los usados en el ensayo, para calcularla GDP de las fracciones del canal y las vísceras en cerdos alimentados con las dietas CON, ECxP o ECxAA, en comparación a 4 cerdos de cada tratamiento que fueron sacrificados al final de los 21 días de experimentación. El sacrificio de los cerdos seleccionados tanto al inicio como al final del experimento se realizó mediante aturdimiento eléctrico y desangrado, en el taller de carnes del Instituto de Ciencias Agrícolas. Las canales de los cerdos sacrificados fueron pesadas y se registró el peso de la canal caliente, después de 2 días de refrigeración entre -2 y -4 °C, se registró el peso de la canal fría. Para analizar el efecto de las dietas en la conformación de los canales la mitad derecha de cada canal de los cerdos sacrificados fue diseccionada y se pesaron por separado la pierna completa y el lomo completo, el músculo y hueso. Además, al momento del sacrificio se registró el peso vacío de estómago, intestino delgado, intestino grueso, corazón, hígado, riñones y bazo, para cada uno de los animales.

#### 6.4. Análisis estadístico

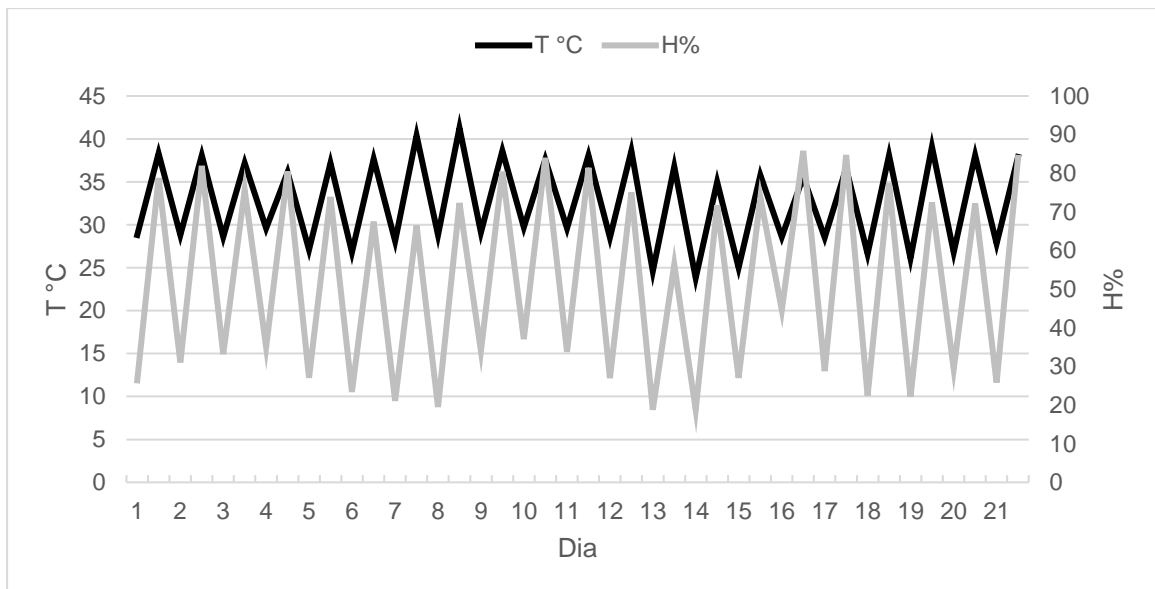
Se realizó análisis de varianza de los resultados basándose en un diseño experimental de bloques completos al azar, utilizando el GLM del SAS.

Se realizaron 3 contrastes para determinar los siguientes efectos: C1, efecto de la dieta enriquecida con aminoácidos asociados a proteína intacta (T1 vs T2); C2, efecto de la dietan enriquecida con aminoácidos en forma libre (T1 vs T3); C3, efecto en la forma de las dietas enriquecidas; aminoácidos asociados a proteína intacta vs aminoácidos forma libre (T2 vs T3).

## VII. RESULTADOS

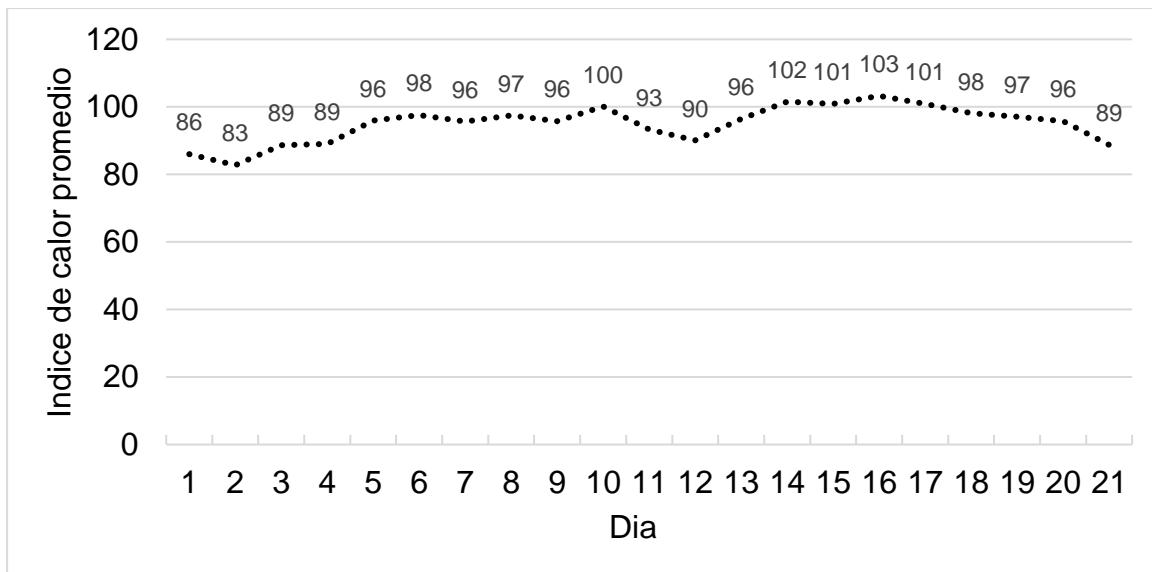
### 7.1. Temperatura ambiental y Humedad

La temperatura ambiental promedio del estudio fluctuó entre 23.7 °C mín. y 41.3 °C máx. El porcentaje de humedad relativa fluctuó entre 7.97 % mín. y 76.09 % máx. Figura 1. El índice de calor se mantuvo entre 83 mín. y 103 máx. como se muestra en la Figura 2.



**Figura 1.** Temperatura ambiental (T ° C) y humedad relativa (H %) durante el periodo experimental.





**Figura 2.** Índice de calor promedio por día durante el período experimental.

## 7.2. Parámetros productivos

Durante la segunda semana del periodo experimental murió uno de los cerdos del tratamiento CON, por causas ajenas al experimento. El peso corporal promedio de los cerdos en el final del ensayo fue de  $48,48 \pm 0.7$  kg. Los resultados de los parámetros productivos se muestran en el Cuadro 3. No se observaron diferencias en la GDP y el CVA ( $P > 0.10$ ), pero existió una tendencia en la EA entre cerdos alimentados con la dieta ECxP vs. CON ( $P < 0.10$ ). Los cerdos alimentados con la dieta ECxAA tuvieron una GDP y una EA más alta que aquellos alimentados con la dieta CON ( $P < 0.05$ ). Sin embargo, se observó que el CVA fue diferente entre tratamientos; CON vs. ECxP, CON vs. ECxAA, ECxP vs. ECxAA ( $P > 0.10$ ).

**Cuadro 3.** Peso vivo inicial y final, ganancia de peso (GDP), consumo voluntario de alimento (CVA) y eficiencia alimenticia (EA; kg), de los cerdos después de estar expuestos a las condiciones de EC y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA).

Variable	Tratamiento <sup>a</sup>				Contrastes, P = <sup>b</sup>		
	CON	ECxP	ECxAA	SEM	C1	C2	C3
Peso Inicial, kg	33.56	33.34	33.94				
Peso final, kg	48.53	51.47	52.87				
GDP	0.658	0.714	0.761	0.035	0.219	0.050	0.369
CVA	1.507	1.634	1.613	0.062	0.385	0.464	0.886
EA	0.411	0.438	0.447	0.036	0.087	0.022	0.453

<sup>a</sup> Tratamiento: CON, cerdos en EC alimentados con una dieta estándar; ECxP, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos unidos a proteínas; ECxAA, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos libres.

<sup>b</sup> Contraste: C1, CON vs. ECxP; C2 CON vs. ECxAA; C3, ECxP vs. ECxAA.

### 7.3. Características de la canal y vísceras

El peso absoluto inicial, así como el absoluto (kg) al final del experimento de la canal caliente, pierna entera, músculo de la pierna, hueso de la pierna, lomo entero, músculo del lomo y hueso de lomo se presentan en la Cuadro 4. El peso absoluto final de la canal caliente y los componentes de la canal no difirieron entre cerdos alimentados con la dieta CON o ECxP ( $P > 0.10$ ). El peso del canal caliente y del músculo de la pierna tendió a ser mayor ( $P \leq 0.10$ ) en los cerdos alimentados la dieta ECxAA en comparación con aquellos alimentados con la dieta CON. Los cerdos alimentados con la dieta ECxAA tuvieron los músculos del lomo más pesados que aquellos alimentados con la dieta ECxP ( $P < 0.05$ ), pero no se encontraron diferencias en el peso del resto de los cortes realizados o en toda la canal caliente ( $P \geq 0.10$ ). El peso relativo (g / kg PV) del músculo del lomo tendió a ser menor en los cerdos alimentados con la dieta ECxP que en los cerdos alimentados con la dieta CON o ECxAA ( $P \leq 0.10$ ). El peso del hueso de la pierna de los cerdos alimentados con la dieta ECxAA tendió a ser menor ( $P \leq 0.10$ ) en comparación con los cerdos alimentado con la dieta CON. Así también el peso del músculo del lomo tendió a ser mayor

( $P \leq 0.10$ ), mientras que el peso del hueso del lomo tendió a ser menor ( $P \leq 0.10$ ) en los cerdos alimentados con la dieta ECxAA en comparación con ECxP. No se observaron otras diferencias de peso en el canal y el resto de sus componentes.

**Cuadro 4.** Peso de la canal y algunos cortes principales de los cerdos sacrificados tanto al principio y después de estar expuestos a las condiciones de EC y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA) (kg)<sup>a</sup>

Variable	Sacrificio Inicial kg	Tratamiento <sup>b</sup>			SEM	Contrastes, P = <sup>c</sup>		
		CON	ECxP	ECxAA		C1	C2	C3
<b>Peso absoluto, kg</b>								
Canal caliente	17.8	28.9	29.5	30.4	0.5	0.465	0.100	0.342
Pierna	2.98	5.02	5.13	5.29	0.12	0.558	0.193	0.429
Musculo pierna	2.33	3.81	3.93	4.10	0.13	0.521	0.100	0.390
Hueso pierna	0.56	0.90	0.85	0.83	0.04	0.549	0.400	0.795
Lomo	2.28	4.52	4.49	4.67	0.11	0.851	0.367	0.286
Musculo lomo	1.67	3.21	3.02	3.31	0.08	0.141	0.400	0.041
Hueso lomo	0.57	1.00	1.06	0.96	0.05	0.436	0.635	0.231
<b>Peso relativo, g/Kg PV</b>								
Pierna	149.1	174.4	174.0	175.0	2.3	0.907	0.861	0.770
Musculo pierna	116.3	132.1	133.2	134.9	1.8	0.682	0.321	0.539
Hueso pierna	28.0	31.4	29.0	27.6	1.5	0.308	0.100	0.547
Lomo	113.8	156.3	152.3	153.3	3.3	0.426	0.620	0.752
Musculo lomo	83.6	110.1	102.1	109.1	3.6	0.100	0.758	0.100
Hueso lomo	28.3	34.6	36.1	31.4	1.7	0.545	0.236	0.098

<sup>a</sup> Se sacrificaron 4 cerdos por tratamiento con similar PV, al final del experimento.

<sup>b</sup> Tratamiento: CON, cerdos en EC alimentados con una dieta estándar; ECxP, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos unidos a proteínas; ECxAA, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos libres.

<sup>c</sup> Contraste: C1, CON vs. ECxP; C2 Con vs. ECxAA; C3, ECxP vs. ECxAA.

La ganancia diaria de peso de la canal caliente y las fracciones de canal de interés se presenta en el Cuadro 5. No se observó diferencia en la ganancia de peso de los componentes de la canal entre cerdos alimentados con las dietas CON y ECxP ( $P>0.10$ ). Los cerdos alimentados con la dieta ECxAA presentaron una tendencia a ganar más peso en la canal caliente y en el músculo de las piernas ( $P\leq 0.10$ ) en comparación con los cerdos alimentados con la dieta CON. Además, la ganancia de peso del músculo del lomo de los cerdos alimentados con la dieta ECxAA fue mayor ( $P<0.05$ ) que en los cerdos alimentados con la dieta ECxP.

**Cuadro 5.** Ganancia diaria de peso (g/d) de la canal y algunos cortes principales de los cerdos sacrificados después de estar expuestos a las condiciones de EC y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA) (kg)<sup>a</sup>

Variable	Tratamiento <sup>b</sup>				Contrastes, P = <sup>c</sup>		
	CON	ECxP	ECxAA	SEM	C1	C2	C3
Canal caliente	565	595	634	27	0.467	0.100	0.345
Pierna	112.8	118.1	125.4	6.0	0.558	0.191	0.497
Musculo pierna	83.0	88.8	96.7	3.6	0.519	0.100	0.391
Hueso pierna	19.0	16.9	16.0	2.3	0.547	0.398	0.794
Lomo	119.0	117.6	126.1	5.1	0.851	0.368	0.285
Musculo lomo	82.1	73.1	86.9	3.7	0.141	0.400	0.040
Hueso lomo	23.6	26.6	21.9	2.5	0.433	0.641	0.232

<sup>a</sup> Se sacrificaron 4 cerdos por tratamiento con similar PV, al final del experimento.

<sup>b</sup> Tratamientos: CON, cerdos en EC alimentados con una dieta estándar; ECxP, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos unidos a proteínas; ECxAA, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos libres.

<sup>c</sup> Contraste: C1, CON vs. ECxP; C2 Con vs. ECxAA; C3, ECxP vs. ECxAA.

El peso absoluto y relativo de vísceras al final del experimento se presenta en el Cuadro 6. El peso absoluto de los órganos viscerales de los cerdos alimentados con la dieta ECxP no difirió de la de los cerdos alimentados con la dieta CON ( $P>0.10$ ). En los cerdos alimentados con la dieta ECxAA el peso del bazo fue más alto ( $P<0.05$ ) y el peso del hígado tendió a ser más alto ( $P=0.10$ ) en comparación con los cerdos del tratamiento CON; sin embargo, el peso de estómago, intestino delgado, intestino grueso, corazón y riñón no fueron diferentes entre esos dos grupos de cerdos. Al comparar los cerdos alimentados con la dieta ECxAA con aquellos alimentados con la dieta ECxP, el riñón fue más ligero ( $P\leq 0.05$ ) y el bazo fue más pesado ( $P\leq 0.05$ ) en ECxAA; no se observaron diferencias en el peso de otros órganos ( $P>0.10$ ).

El peso relativo (g / kg de peso corporal) de vísceras no fue diferente entre cerdos alimentados con la dieta CON o la dieta ECxP ( $P>0.10$ ). El peso relativo de los riñones tendió a ser menor ( $P<0.10$ ), y el bazo fue mayor ( $P <0.05$ ) en cerdos alimentados con la dieta ECxAA en comparación a aquellos alimentados con la dieta CON. También, el peso relativo de los riñones fue menor ( $P<0.05$ ) y el del bazo fue mayor ( $P\leq 0.05$ ) en los cerdos ECxAA que en los cerdos ECxP.

La ganancia diaria de peso de vísceras se presenta en la Cuadro7. La ganancia diaria de peso de las vísceras no fue diferente entre los cerdos alimentados con las dietas CON y ECxP ( $P>0.10$ ). La ganancia diaria del bazo de los cerdos alimentados con la dieta ECxAA fue mayor ( $P<0.05$ ) en comparación con los cerdos del tratamiento CON, pero no se observó diferencia en la ganancia de otras vísceras con esta misma comparación. Al comparar los cerdos alimentados con ECxP con los alimentados con la dieta ECxAA, el riñón tendió a ganar más peso ( $P\leq 0.01$ ) en cerdos alimentados con ECxP; pero la ganancia de peso del bazo fue mayor ( $P<0.05$ ) en cerdos alimentados con la dieta ECxAA; la ganancia de peso de los otros órganos no difirió entre tratamientos ( $P>0.10$ ).

**Cuadro 6.** Peso inicial y final de las vísceras de los cerdos sacrificados tanto al principio y después de estar expuestos a las condiciones de EC y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA)(kg)<sup>a</sup>

Variable	Sacrificio Inicial kg	Tratamiento <sup>b</sup>			SEM	Contrastes, P = <sup>c</sup>		
		CON	ECxP	ECxAA		C1	C2	C3
<b>Peso absoluto, kg</b>								
Estomago	0.268	0.346	0.347	0.354	0.01	0.963	0.700	0.744
Intestino delgado	1.297	1.371	1.361	1.386	0.11	0.951	0.929	0.881
Intestino grueso	0.843	1.104	1.160	1.042	0.11	0.725	0.693	0.464
Corazón	0.180	0.216	0.212	0.221	0.02	0.891	0.884	0.778
Hígado	1.056	1.116	1.186	1.251	0.05	0.412	0.100	0.445
Riñones	0.195	0.202	0.217	0.191	0.01	0.205	0.781	0.050
Bazo	0.068	0.068	0.080	0.109	0.003	0.379	0.014	0.047
<b>Peso relativo, g/kg PV</b>								
Estomago	7.50	6.83	6.73	6.71	0.2	0.781	0.739	0.954
Intestino delgado	36.27	27.15	26.76	26.10	1.9	0.891	0.710	0.813
Intestino grueso	2.58	21.48	22.83	19.69	2.1	0.659	0.561	0.322
Corazón	5.03	4.28	4.10	4.13	0.3	0.703	0.743	0.956
Hígado	29.51	21.93	23.22	23.73	0.8	0.321	0.181	0.681
Riñones	5.46	4.00	4.24	3.63	0.1	0.209	0.076	0.012
Bazo	2.12	1.33	1.54	2.04	0.1	0.363	0.016	0.050

<sup>a</sup> Se sacrificaron 4 cerdos por tratamiento con similar PV, al final del experimento.

<sup>b</sup> Tratamientos: CON, cerdos en EC alimentados con una dieta estándar; ECxP, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos unidos a proteínas; ECxAA, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos libres.

<sup>c</sup> Contraste: C1, CON vs. ECxP; C2 Con vs. ECxAA; C3, ECxP vs. ECxAA.

**Cuadro 7.** Ganancia diaria de peso (g/d) de las vísceras de los cerdos sacrificados después de estar expuestos a las condiciones de EC y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA)<sup>a</sup>

Variable	Tratamiento <sup>b</sup>				Contrastes, P = <sup>c</sup>		
	CON	ECxP	ECxAA	SEM	C1	C2	C3
Estomago	5.58	5.63	5.96	0.69	0.954	0.704	0.746
Intestino delgado	12.72	12.24	13.40	5.17	0.951	0.931	0.745
Intestino grueso	21.72	21.04	17.23	4.00	0.908	0.498	0.572
Corazón	3.01	2.82	3.21	0.94	0.884	0.889	0.775
Hígado	10.33	13.68	16.80	2.69	0.429	0.145	0.461
Riñones	1.70	2.41	1.17	0.40	0.324	0.453	0.100
Bazo	0.18	0.72	2.12	0.40	0.377	0.013	0.046

<sup>a</sup> Se sacrificaron 4 cerdos por tratamiento con similar PV, al final del experimento.

<sup>b</sup> Tratamientos: CON, cerdos en EC alimentados con una dieta estándar; ECxP, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos unidos a proteínas; ECxAA, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos libres.

<sup>c</sup> Contraste: C1, CON vs. ECxP; C2 Con vs. ECxAA; C3, ECxP vs. ECxAA.

#### 7.4. Concentración de aminoácidos en suero

La concentración en suero (CS) postprandial de AA en cerdos se muestra en el Cuadro 8. La CS postprandial de AA de los cerdos alimentados con la dieta ECxP fue mayor para Arg (P=0.021), His (P=0.002), Lis (P<0.001), Fen (P=0.001), Tre (P=0.046), Trp (P=0.005), Val (P=0.005) y mostró una tendencia a incrementarse en Leu (P=0.086). La CS postprandial de AA de los cerdos del tratamiento CON en comparación con los cerdos de ECxAA, también fue mayor para los AA: Arg (P=0.003), His (P=0.012), Leu (P<0.001), Lis (P<0.001), Met (P=0.050), Fen (P=0.003), Tre (P<0.001), Trp (P=0.015), y Val (<0.001). La comparación de la dieta ECxAA con la dieta ECxP mostró mayor CS en los cerdos alimentados con la dieta ECxAA de los AA: Ile (P=0.033), Leu (P=0.016), Tre (P=0.012), y Val (P=0.013); además se observó una tendencia a incrementarse la CS de Met (P=0.065).

**Cuadro 8.** Concentraciones séricas ( $\mu\text{g} / \mu\text{L}$ ) de aminoácidos esenciales en etapa postprandial en cerdos expuestos a condiciones de estrés por calor y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA)

AA esenciales	Tratamiento <sup>a</sup>				Contrastes, P = <sup>b</sup>		
	CON	ECxP	ECxAA	SEM	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Arginina	24.50	29.38	31.20	1.34	0.021	0.003	0.354
Histidina	6.92	9.96	9.19	0.56	0.002	0.012	0.347
Isoleucina	13.12	12.33	14.32	0.60	0.367	0.179	0.033
Leucina	16.77	19.01	22.30	0.86	0.086	<0.001	0.016
Lisina	16.92	26.56	28.40	1.13	<0.001	<0.001	0.266
Metionina	3.16	3.23	4.26	0.37	0.887	0.050	0.065
Fenilalanina	9.28	11.51	11.28	0.40	0.001	0.003	0.691
Treonina	10.70	15.03	20.71	1.40	0.046	<0.001	0.012
Triptófano	8.38	10.96	10.50	0.55	0.005	0.015	0.561
Valina	25.26	29.89	33.92	1.01	0.005	<0.001	0.013

<sup>a</sup> Tratamiento: CON, cerdos en EC alimentados con una dieta estándar; ECxP, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos unidos a proteínas; ECxAA, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos libres.

<sup>b</sup> Contraste: C<sub>1</sub>, CON vs. ECxP; C<sub>2</sub> Con vs. ECxAA; C<sub>3</sub>, ECxP vs. ECxAA.

En cuanto a la CS de AA no esenciales Cuadro 9. Los cerdos alimentados con la dieta ECxAA, solo se observó una tendencia en la CS postprandial de Cis (P=0.090), esto en comparación a la dieta CON, los cerdos ECxP mostraron una mayor CS de Asp (P=0.037), Tirosina (P=0.030). En lo referente a la comparación de los tratamientos ECxAA vs ECxP, se tuvo una mayor CS de los AA; Glutamato (P=0.015) y Aspartato (P=0.011) en la dieta ECxAA, mientras que Asparagina (P=0.054) y Tirosina (P=0.057) en los cerdos alimentados con la dieta ECxP.



**Cuadro 9.** Concentraciones séricas ( $\mu\text{g} / \mu\text{L}$ ) de aminoácidos no esenciales en etapa postprandial en cerdos expuestos a condiciones de estrés por calor y alimentados con una dieta; estándar (CON), dieta enriquecida con AA unidos a proteína (ECxP) o enriquecida con AA en forma libre (ECxAA)

AA no esenciales	Tratamiento <sup>a</sup>			SEM	Contrastes, P = <sup>b</sup>		
	CON	ECxP	ECxAA		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
Alanina	45.26	36.38	41.62	3.69	0.100	0.496	0.331
Asparagina	5.09	6.44	5.21	0.41	0.037	0.843	0.054
Aspartato	3.61	3.24	4.03	0.19	0.195	0.145	0.011
Cisteína	1.29	0.32	0.57	0.28	0.027	0.090	0.527
Glutamato	20.59	14.61	20.31	1.46	0.011	0.893	0.015
Glutamina	49.37	43.59	44.78	2.07	0.067	0.138	0.689
Glicina	55.27	53.81	58.78	2.84	0.722	0.396	0.235
Prolina	30.72	29.90	29.47	1.99	0.775	0.661	0.878
Serina	14.08	16.63	13.42	1.47	0.239	0.755	0.144
Tirosina	12.73	16.85	13.31	1.21	0.030	0.741	0.057

<sup>a</sup> Tratamiento: CON, cerdos en EC alimentados con una dieta estándar; ECxP, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos unidos a proteínas; ECxAA, cerdos en EC alimentados con una dieta enriquecida con +25% aminoácidos libres.

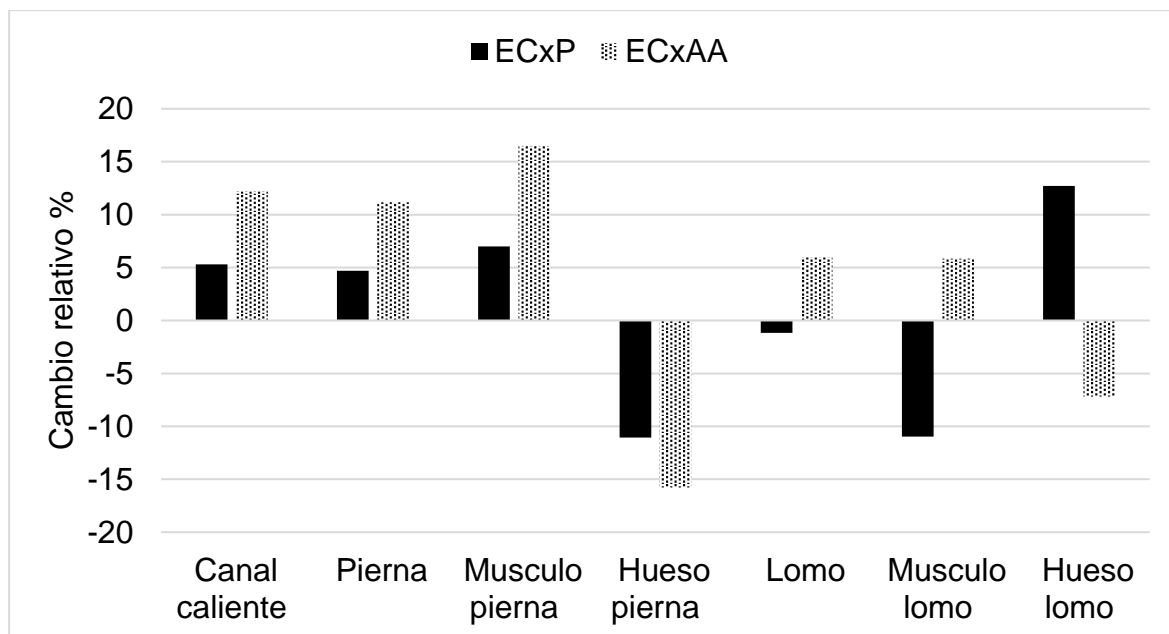
<sup>b</sup> Contraste: C<sub>1</sub>, CON vs. ECxP; C<sub>2</sub> Con vs. ECxAA; C<sub>3</sub>, ECxP vs. ECxAA.

## VIII. DISCUSIÓN

La temperatura ambiente promedio del estudio fluctuó entre 23.7 °C min. y 41.3 °C máx., este rango temperatura y un índice de calor siempre mayor de 83, se encuentran por encima de la TA que consideraron crítica para la producción de cerdos en crecimiento (Stahly y Cromwell 1979; Coffey y Parker, 1985). Como se ha reportado, el EC en los cerdos provoca una disminución del CVA y por consecuencia, un bajo crecimiento debido al pobre consumo de AA (Huynh *et al.*, 2005; Pearce *et al.*, 2013). Por lo anterior, alimentar cerdos con dietas enriquecidas con AA asociados a proteína o en forma de AA libres es una alternativa para superar el bajo consumo de estos nutrientes. Sin embargo, se ha reportado que elevar nivel de proteína en la dieta es un factor limitante del CVA (Spencer *et al.*, 2010). En el presente estudio, no existió una diferencia en el CVA, sin importar la forma que se enriquecieron las dietas. Sin embargo, en la comparación con los cerdos CON, los cerdos ECxAA mostraron una mayor EA, esto relacionado con una mayor GDP, y una tendencia en el aumento del peso absoluto del 12% del canal caliente, 17% del musculo de la pierna y una disminución en el peso relativo del 16 % del hueso de la pierna, Figura 3. No obstante, la respuesta al tratamiento ECxP no fue la misma, pues los cerdos ECxP mostraron un incremento del 14% en el peso del hueso del lomo, y una acumulación menor del musculo del lomo a comparación de los cerdos en comparación con la dieta CON, y los cerdos ECxAA respectivamente, lo que indica que el enriquecer las dietas con AA libres, se tiene un incremento en la disponibilidad de AA para crecimiento muscular, y se compensa la disponibilidad de AA causada por la reducción en el CVA. Estudios anteriores reportaron que una disminución en el contenido de proteína en la dieta de cerdos bajo condiciones de TN redujo el tamaño del músculo *longissimus dorsi* (Wang *et al.*, 2017). En este estudio los cerdos ECxAA acumularon más proteína muscular, lo que se puede asociarse a una mayor disponibilidad de AA, pues se ha observado que la expresión del transportador b<sup>0+</sup>, el responsable de la absorción de Lis y Arg, fue aproximadamente 2 veces mayor en el duodeno de cerdos alimentados con una dieta en la que el 65% del contenido total de Lis se suministró en forma libre, en comparación con los cerdos alimentados con Lis unida a proteínas (Morales *et al.*,

2015), pese a que se ha observado una disminución de este transportador en el yeyuno de los cerdos en EC (Morales *et al.*, 2014).

Dado que las dietas ECxP y ECxAA contienen 25% más AA, que la dieta CON, ya sea como AA asociado a proteína o AA libres, la dieta ECxAA, tiene un perfil de AA más equilibrado a la dieta CON, pues el perfil de AA de la dieta ECxP está más desequilibrado, debido al aumento de las unidades de proteína cruda para conseguir los valores requeridos de Lis, Met y Tre. Estas diferencias en el perfil de AA pueden explicar el 10 % de aumento del peso relativo del riñón de los cerdos alimentados con la dieta CON y el 16 % en el caso de la dieta ECxP en comparación con aquellos alimentados con la dieta ECxAA. En un estudio realizado por Morales *et al.*, (2015), el riñón de los cerdos alimentados con una dieta con 22% de PC, pesaba 43% más que aquellos alimentados con una dieta suplementada con AA y 14% de PC. El exceso de AA proporcionados en la dieta ECxP, llevo a una ingestión desequilibrada de proteínas en su forma intacta, las cuales generan un aumento del catabolismo para su excreción, por lo que el aumento en el peso de los riñones en este estudio sugiere un aumento de la actividad renal para eliminar ese exceso, en comparación a la dieta ECxAA, lo que es similar a lo reportado en cerdos en crecimiento alimentados con una dieta de 16% PC a una TA de 33 °C (Kerr *et al.*, 2002). Comparado con la dieta CON el hígado de los cerdos con tratamiento ECxAA mostro un incremento del 12 %, esto es diferente a estudios anteriores que indicaban que dietas suplementadas con AA libres, el hígado no llegaba tener pesos superiores al de cerdos alimentados con dietas alta en PC (Kerr *et al.*, 1995), sin embargo también se ha reportado que el hígado no muestra una respuesta constante a la suplementación de AA libres (Kerr *et al.*, 2002; Morales *etal.*, 2015). El bazo es el otro órgano que mostro un incremento significativo en su peso absoluto en los cerdos alimentados con la dieta ECxAA de 60% en comparación con la dieta CON, y de 36% en comparación a los cerdos alimentados con la dieta ECxP, este comportamiento es similar a lo encontrado en un estudio con dietas bajas en PC y adicionadas AA libres en cerdos en crecimiento en condiciones de TN (Morales *et al.*, 2015), sin embargo no se tiene una explicación a este comportamiento lo que representa una oportunidad para estudios futuros.



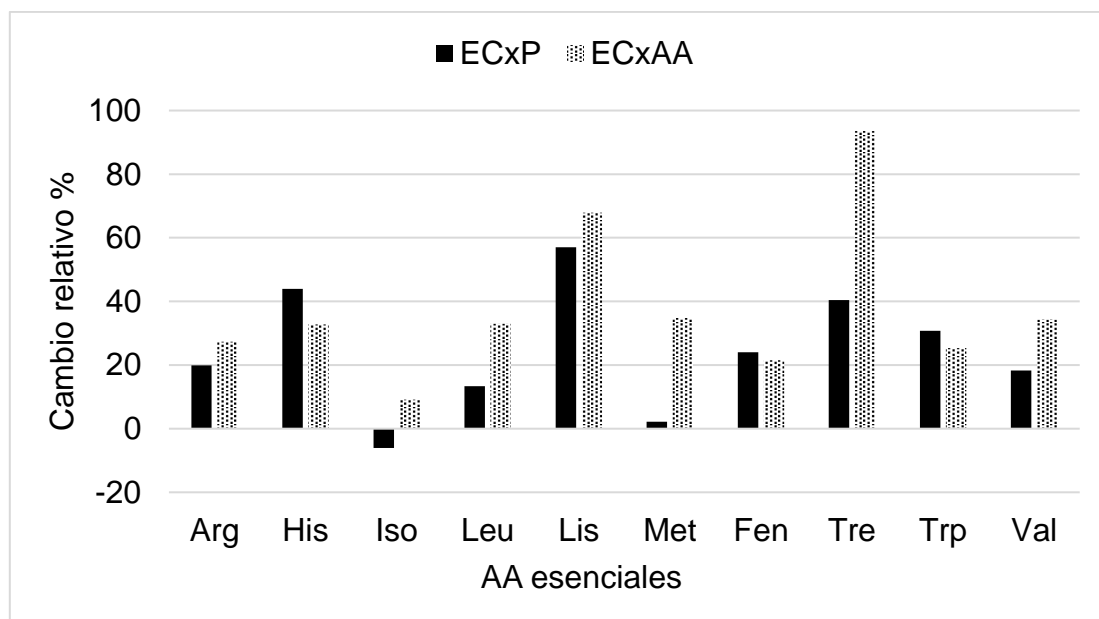
**Figura 3.** Cambio relativo en las fracciones del canal en cerdos alimentados con dietas enriquecidas con aminoácidos unidos a proteína (ECxP) o en forma libre (ECxAA), en comparación con los cerdos alimentados con una dieta estandar (CON).

La concentración de AA libres en suero (CS) en la fase post-absorción ( $\geq 8$  h postprandial) podría indicar la cantidad a la cual las células toman los AA circulando en sangre para su metabolismo (Reverter *et al.*, 2000; Yen *et al.*, 2004), AA que se supone se utilizan para mantenimiento y síntesis de proteínas (crecimiento corporal) o como AA libre funcional, o podrían haber sido oxidados (Cervantes *et al.*, 2017). Como se ha comentado el EC afecta el metabolismo de los nutrientes, su absorción y en consecuencia la CS de AA, principalmente la de los AA; Arg, His y Met (Morales *et al.*, 2016a). En este trabajo se observó que la CS de AA fue afectada por la forma en la que se enriquecieron las dietas, además de ser afectada por el perfil de AA de la dieta (Shikata *et al.*, 2007). Arg e His tuvieron una CS mayor en las dietas ECxP y la ECxAA en comparación con la dieta CON, pero no fueron diferentes entre ellas, lo que indica el efecto de enriquecer las dietas, pero no de la forma, pues, aunque Arg no se adicionó de forma libre, His si lo fue. Este comportamiento no lo compartieron con Met, pues este AA si mostro un incremento del 35 % y una tendencia a tener una CS postabsortiva 32 % mayor debido a la forma en la que fue

adicionada en la dieta ECxAA, en comparación a la dieta CON y los cerdos ECxP ( $P=0.065$ ), respectivamente. Similar a lo encontrado por (Morales et al., 2015), donde cerdos en TN, mostraron una CS postabsortiva mayor de Met cuando esta se adicionó a la dieta en forma libre, pero solo a la 3 h postabsortiva. A pesar de que esta dieta ECxP también mostro una CS mayor de Lis, primer AA limitante en cerdos, esta no se vio reflejada en mejores características del canal o GDP, pues se ha reportado que la Lis tiende a utilizarse mejor cuando se adiciona de forma libre (Noblet et al., 1987), así mismo, se reportado que Lis en su forma libre aumento la expresión del transportador catiónico AA  $b^{0,+}$  en duodeno (Morales et al., 2015). Debido a que el crecimiento muscular los cerdos además de Lis, este requiere de Met, Tre y Trp (Mahan y Shields, 1998). Met que también es transportada por el transportador  $b^{0,+}$ , y su mayor CS en los cerdos ECxAA se explica por ser enriquecida en forma libre, considerado como segundo AA limitante en cerdos en crecimiento (van Milgen y Dourmad, 2015) aparenta ser uno de los AA clave en la respuesta diferencia encontrada en el presente estudio. Otro AA clave es Tre, usado como componente de la mucina (Wu, 2009), por lo que gran cantidad de este no llega a la circulación sanguínea, pues es metabolizada en el intestino delgado (Schaart et al., 2005), además se ha reportado que la concentración postabsortiva de Tre disminuye, debido a perdidas endógenas en cerdos en EC (Morales et al., 2016a; 2016b), también se ha reportado que la suplementación Tre libre no afecto la CS de este AA cuando se usaron dietas bajas PC (Morales et al., 2015) por lo que en los cerdos ECxAA el incremento en la CS del 94% y 54% en comparación con las dietas CON y ECxP, respectivamente, Figura 4, se debe a su uso en forma libre. Aunque se ha reportado que Tre no tiene mucho efecto en las características del canal, es de vital importancia para mantener la salud intestinal (Plitzner et al., 2007).

Continuando con la hipótesis de que el perfil de AA de la dieta tiene un efecto sobre la CS, los resultados indican que el incremento de Ile, Leu, y Val en 10%, 33% y 34% respectivamente, de los cerdos alimentados con la dieta ECxAA en comparación a la dieta CON, como se muestra en la Figura 4, se debe al extra en la forma en la que fueron adicionados (libre), la diferencia significativa en comparación a la dieta ECxP de Ile ( $p= 0.016$ ), Leu ( $p=0.033$ ) y Val ( $p=0.013$ ), y su mayor concentración puede deberse a que todos se enriquecieron en la dieta en forma libre, evitando así que un desbalance evitara su absorción (Cervantes et al., 2015)

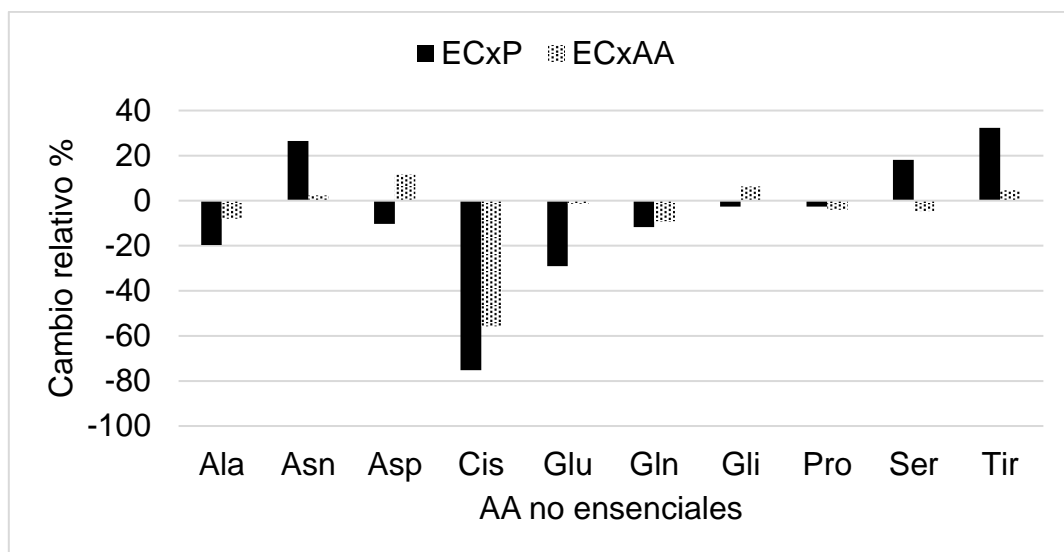
esto puede ayudar a explicar el porqué del mayor crecimiento del musculo del lomo, pues a los aminoácidos de cadena ramificada, se les han otorgado funciones como promotores de la síntesis muscular al estimular el mTOR (G. Wu *et al.*, 2014) y al haberse proporcionado de manera libre en comparación al tratamiento ECxP. Solamente Val se encontró en mayor CS en la dieta ECxP, en comparación a la dieta CON, pero como ya se mencionó esta dieta no tuvo diferencias significativas en ninguna de las fracciones del canal.



**Figura 4.** Cambio relativo en las concentraciones séricas de aminoácidos esenciales en cerdos alimentados con dietas enriquecidas con aminoácidos unidos a proteína (ECxP) o en forma libre (ECxAA), en comparación con los cerdos alimentados con una dieta estándar (CON).

En lo referente a los AA no esenciales la comparación con la dieta ECxAA y la dieta control no mostro diferencias significativas en la CS con la dieta CON, pues esta dieta está más cerca al concepto de proteína ideal, en cambio la dieta ECxP mostro una CS mayor de Asn de 27 % y de Tir 32% Figura 5, estos AA también se encontraron aumentados en la CS cuando se compararon cerdos en TN con cerdos en EC (Morales *et al.*, 2016a), además Asn también se encontró elevado cuando se alimentaron cerdos en condiciones de TN con una dieta alta en AA asociados a proteína (Morales *et al.*, 2015), continuando con la hipótesis de que la dieta influye en la CS, Tir en la pasta de soya se encuentra en mayor porcentaje en comparación

a otros ingredientes proteicos (Shelton *et al.*, 2001) y el aumento en el peso de riñones con la dieta ECxP también puede asociarse al incremento de la CS de Tir, pues en su metabolismo y degradación el riñón de cerdos tiene un papel importante (Morris *et al.*, 1949). Además, la caída en la CS de Cis en -75% en los cerdos ECxP y -56% a los alimentados con la dieta ECxAA, puede deberse a alta CS de aminoácidos catiónicos; His, Lis y Arg pues estos pueden inhibir su transportador (Bröer, 2008).



**Figura 5.** Cambio relativo en las concentraciones séricas de aminoácidos no esenciales en cerdos alimentados con dietas enriquecidas con aminoácidos unidos a proteína (ECxP) o en forma libre (ECxAA), en comparación con los cerdos alimentados con una dieta estandar (CON).

En resumen los resultados de este experimento indican que la CS refleja la composición de AA en la dieta, es decir, la forma en la cual fueron enriquecidas las dietas con AA asociados a proteína o en su forma libre, esto se relaciona con los datos de comportamiento pues indican que los cerdos alimentados *ad libitum* con dietas enriquecidas con AA, pueden tener una mejor eficiencia de uso de los AA y mejores características del canal y algunos cortes importantes como son la pierna y el músculo del lomo.

## IX. CONCLUSIÓN

Los cerdos en crecimiento en condiciones de EC, alimentados con dietas enriquecidas en AA (asociados a proteína o libres), tienden a tener una mejor eficiencia alimenticia, especialmente cuando la dieta fue enriquecida con AA libres, pues estos parecen mejorar la eficiencia de uso de los AA en cerdos en crecimiento en EC. El comportamiento productivo y composición de la canal indican que los cerdos alimentados *ad libitum* con dietas enriquecidas con AA libres producen canales más pesadas, con más peso en los músculos de la pierna y el lomo en comparación a cerdos alimentados con una dieta estándar o enriquecida con AA asociados a proteína.



## X. LITERATURA CITADA

- Amaoka, I. Y., Ikura, M. M., Ishimura, M. N., & Oi, M. D. (2008). Enhancement of Myofibrillar Proteolysis Following Infusion of Amino Acid Mixture Correlates Positively with Elevation of Core Body Temperature in Rats, 467–474.
- Aschenbach, J. R., Steglich, K., Gäbel, G., & Honscha, K. U. (2009). Expression of mRNA for glucose transport proteins in jejunum, liver, kidney and skeletal muscle of pigs. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 65(3), 251–266. <https://doi.org/10.1007/BF03180578>
- Baumgard, L. H., & Rhoads, R. P. (2013). Effects of Heat Stress on Postabsorptive Metabolism and Energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1(1), 311–337. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>
- Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., & Nardone, a. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167–1183. <https://doi.org/10.1017/S175173111000090X>
- Bobadilla-Soto EE, Espinoza-Ortega A, M.-C. F. (2010). Dinámica de la producción porcina en México de 1980 a 2008 Swine production dynamics in Mexico ( 1980 – 2008 ). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(3), 251–268.
- Boukhettala, N., Claeysens, S., Bensifi, M., Maurer, B., Abed, J., Lavoine, A., ... Coëffier, M. (2012). Effects of essential amino acids or glutamine deprivation on intestinal permeability and protein synthesis in HCT-8 cells: Involvement of GCN2 and mTOR pathways. *Amino Acids*, 42(1), 375–383. <https://doi.org/10.1007/s00726-010-0814-x>
- Bröer, S. (2008). Amino acid transport across mammalian intestinal and renal epithelia. *Physiological Reviews*, 88(1), 249–86. <https://doi.org/10.1152/physrev.00018.2006>
- Cervantes, M., Arce, N., García, H., Cota, M., Htoo, J. K., & Morales, A. (2015). Expression of genes coding for selected amino acid transporters in small intestine, liver, and skeletal muscle of pigs fed excess branched-chain amino

acids. *Genetics and Molecular Research : GMR*, 14(3), 9779–92.

<https://doi.org/10.4238/2015.August.19.11>

Cervantes, M., Cota, M., Arce, N., Castillo, G., Avelar, E., Espinoza, S., & Morales, A. (2016). Effect of heat stress on performance and expression of selected amino acid and glucose transporters, HSP90, leptin and ghrelin in growing pigs.

*Journal of Thermal Biology*, 59, 69–76.

<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.04.014>

Cervantes, M., Ibarra, N., Vásquez, N., Reyes, F., Avelar, E., Espinoza, S., & Morales, A. (2017). Serum concentrations of free amino acids in growing pigs exposed to diurnal heat stress fluctuations. *Journal of Thermal Biology*, 69(April), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2017.06.008>

Coëffier, M., Claeysens, S., Hecketsweiler, B., Lavoine, A., Ducrotté, P., & Déchelotte, P. (2003). Enteral glutamine stimulates protein synthesis and decreases ubiquitin mRNA level in human gut mucosa. *American Journal of Physiology. Gastrointestinal and Liver Physiology*, 285(2), G266–G273.

<https://doi.org/10.1152/ajpgi.00385.2002>

Coffey, R. D., & Parker, G. R. (1993). Feeding growing-finishing pigs to maximize lean growth rate. *Cooperative Extension Service - University of Kentucky, College of Agriculture*, 1–7.

Cottrell, J. J., Liu, F., Hung, A. T., DiGiacomo, K., Chauhan, S. S., Leury, B. J., ... Dunshea, F. R. (2015). Nutritional strategies to alleviate heat stress in pigs. *Animal Production Science*, 55(11–12), 1391–1402. <https://doi.org/AN15255>

FIRA. (2016). Panorama agroalimentario, Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial, 35. Retrieved from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama\\_Agroalimentario\\_Carne\\_de\\_Cerdo\\_2016.pdf%5Cnhttp://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61948/Panorama\\_Agroalimentario\\_Carne\\_de\\_Bovino\\_2015.pdf%5Cnhttp://www.porcimex.org/Compendio Estadistic](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Cerdo_2016.pdf%5Cnhttp://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61948/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Bovino_2015.pdf%5Cnhttp://www.porcimex.org/Compendio Estadistic)

Hao, Y., Feng, Y., Yang, P., Feng, J., Lin, H., & Gu, X. (2014). Nutritional and physiological responses of finishing pigs exposed to a permanent heat exposure during three weeks. *Archives of Animal Nutrition*, 68(4), 296–308.

<https://doi.org/10.1080/1745039X.2014.931522>

Hatzoglou, M., Fernandez, J., Yaman, I., & Closs, E. (2004). REGULATION OF CATIONIC AMINO ACID TRANSPORT: The Story of the CAT-1 Transporter. *Annual Review of Nutrition*, 24(1), 377–399.

<https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.23.011702.073120>

Henry, Y., Seve, B., Colleaux, Y., Ganier, P., Saligaut, C., & Jegou, P. (1992). Interactive Effects of Dietary Levels of Tryptophan and Protein on Voluntary Feed-Intake and Growth-Performance in Pigs, in Relation to Plasma-Free Amino-Acids and Hypothalamic Serotonin. *Journal of Animal Science*, 70(6), 1873–1887. <https://doi.org/10.2527/1992.7061873x>

Huynh, T. T. T., Aarnink, A. J. A., Truong, C. T., Kemp, B., & Verstegen, M. W. A. (2006). Effects of tropical climate and water cooling methods on growing pigs' responses. *Livestock Science*, 104(3), 278–291.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.029>

Huynh, T. T. T., Aarnink, a J. a, Verstegen, M. W. a, Gerrits, W. J. J., Heetkamp, M. J. W., Kemp, B., & Canh, T. T. (2005). Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities The online version of this article , along with updated information and services , is located on the World Wide Web at : Effects of increasing temperature, 1385–1396.

Kerr, B. J., Mckeith, F. K., & Easter, R. A. (1995). Effect on Performance and Carcass Characteristics Nursery to Finisher Pigs Fed Reduced Crude Protein, Amino Diets. *Journal of Animal Science*, 73(2), 433–440.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2527/1995.732433x>

Kerr, B. J., Yen, J. T., Nienaber, J. A., & Easter, R. A. (2002). Influences of dietary protein level , amino acid supplementation and environmental temperature on performance , body composition , organ weights and total heat production of growing pigs 1, 1998–2007.

Kregel, K. C., & Sieck, G. C. (2002). Highlighted Topics. *Journal of Applied Physiology*, 89(4), 1253–1254. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00017.2004>

Lewis. (2001). Lewis AJ (2001) Amino acids in swine nutrition. In Lewis A, Southern JL (Eds.) Swine Nutrition. 2nd ed. CRC Press. New york, USA. Pp. 151-186.

- Liao, S. F., Wang, T., & Regmi, N. (2015). Lysine nutrition in swine and the related monogastric animals: muscle protein biosynthesis and beyond. *SpringerPlus*, 4, 147. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-0927-5>
- Liu, F., Yin, J., Du, M., Yan, P., Xu, J., Zhu, X., & Yu, J. (2009). Heat-stress-induced damage to porcine small intestinal epithelium associated with downregulation of epithelial growth factor signaling. *Journal of Animal Science*, 87(6), 1941–1949. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1624>
- Mahan, D. C., & Shields, R. G. (1998). Essential and Nonessential Amino Acid Composition of Pigs from Birth to 145 Kilograms of body weight , and comparison to other studies., 513–521.
- Majumder, M., Yaman, I., Gaccioli, F., Zeenko, V. V, Wang, C., Caprara, M. G., ... Hatzoglou, M. (2009). The hnRNA-binding proteins hnRNP L and PTB are required for efficient translation of the Cat-1 arginine/lysine transporter mRNA during amino acid starvation. *Molecular and Cellular Biology*, 29(10), 2899–912. <https://doi.org/10.1128/MCB.01774-08>
- Miyazaki, M., & Esser, K. a. (2009). Cellular mechanisms regulating protein synthesis and skeletal muscle hypertrophy in animals. *Journal of Applied Physiology*, 106(4), 1367–1373. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91355.2008>
- Morales, A., Buenabad, L., Castillo, G., Arce, N., Araiza, B. A., Htoo, J. K., & Cervantes, M. (2015). Low-protein amino acid-supplemented diets for growing pigs: effect on expression of amino acid transporters, serum concentration, performance, and carcass composition. *Journal of Animal Science*, 93(5), 2154–2164. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8834>
- Morales, A., Cota, S. E. M., Ibarra, N. O., Arce, N., Htoo, J. K., & Cervantes, M. (2016). Effect of heat stress on the serum concentrations of free amino acids and some of their metabolites in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 94(7), 2835–2842. <https://doi.org/10.2527/jas2015-0073>
- Morales, A., Grageola, F., García, H., Arce, N., Araiza, B., Yáñez, J., & Cervantes, M. (2014). Performance, serum amino acid concentrations and expression of selected genes in pair-fed growing pigs exposed to high ambient temperatures. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 98(5), 928–935.

<https://doi.org/10.1111/jpn.12161>

Morales, A., Hernández, L., Buenabad, L., Avelar, E., Bernal, H., Baumgard, L. H., & Cervantes, M. (2016). Effect of heat stress on the endogenous intestinal loss of amino acids in growing pigs. *Journal of Animal Science*, *94*(1), 165–172.

<https://doi.org/10.2527/jas2015-9393>

Morris, B. Y. J. E., Harpur, E. R., & Goldbloom, A. (1949). THE METABOLISM OF I-TYROSINE IN INFANTILE SCURVY " serum content of both hydroxyphenyl compounds to scorbutic guinea pigs results in the urinary ex- of high aromatic amino acid consumption has been, 325–335.

Nakashima, K., Yakabe, Y., Ishida, A., Yamazaki, M., & Abe, H. (2007). Suppression of myofibrillar proteolysis in chick skeletal muscles by ??-ketoisocaproate. *Amino Acids*, *33*(3), 499–503. <https://doi.org/10.1007/s00726-006-0404-0>

Noblet, J., Fortune, H., Shi, X. S., & Dubois, S. (1994). Prediction of net energy value of feeds for growing pigs Prediction of Net Energy Value of Feeds for Growing Pigs ', (MARCH 1994), 344–354.

Noblet, J., Henry, Y., & Dubois, S. (1987). Effect of Protein and Lysine Levels in the Diet on Body Gain Composition and Energy Utilization in Growing Pigs J . Noblet , Y . Henry and S . Dubois The online version of this article , along with updated information and services , is located on the Worl. *World Wide Web Internet And Web Information Systems*, (June), 717–726.

<https://doi.org/10.2527/jas1987.653717x>

NRC. (2012). NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 12th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Ochoa. (2001). Ochoa, M. L. I., editor. 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. Diario Oficial de la Federación, México (DF), México.

Patience, J. F., Rossoni-Serão, M. C., & Gutiérrez, N. A. (2015). A review of feed efficiency in swine: biology and application. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, *6*(1), 33. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0031-2>

Patience, J. F., Umboh, J. F., Chaplin, R. K., & Nyachoti, C. M. (2005). Nutritional

and physiological responses of growing pigs exposed to a diurnal pattern of heat stress. *Livestock Production Science*, 96(2–3), 205–214.

<https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.01.012>

Pearce, S. C., Mani, V., Boddicker, R. L., Johnson, J. S., Weber, T. E., Ross, J. W., ... Gabler, N. K. (2012). Heat stress reduces barrier function and alters intestinal metabolism in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 90(SUPPL4), 257–259. <https://doi.org/10.2527/jas.52339>

Pearce, S. C., Mani, V., Weber, T. E., Rhoads, R. P., Patience, J. F., Baumgard, L. H., & Gabler, N. K. (2013). Heat stress and reduced plane of nutrition decreases intestinal integrity and function in pigs. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5183–5193. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6759>

Pearce, S. C., Sanz-Fernandez, M. V., Hollis, J. H., Baumgard, L. H., & Gabler, N. K. (2014). Short-term exposure to heat stress attenuates appetite and intestinal integrity in growing pigs<sup>1</sup>. *Journal of Animal Science*, 92(12), 5444–5454. <https://doi.org/10.2527/jas2014-8407>

Plitzner, C., Etle, T., Handl, S., Schmidt, P., & Windisch, W. (2007). Effects of different dietary threonine levels on growth and slaughter performance in finishing pigs. *Czech Journal of Animal Science*, 52(12), 447–455.

Quiniou, N., Dubois, S., & Noblet, J. (2000). Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livestock Production Science*, 63(3), 245–253. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00135-9](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00135-9)

Renaudeau, D., Anais, C., Tel, L., & Gourdine, J. L. (2010). Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. *Journal of Animal Science*, 88(11), 3715–3724. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2169>

Renaudeau, D., Kerdoncuff, M., Anai, C., & Gourdine, J. L. (2008). Effect of temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs, 1619–1626. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002814>

Reverter, M., Lundh, T., Gonda, H. L., & Lindberg, J. E. (2000). Portal net appearance of amino acids in growing pigs fed a barley-based diet with inclusion of three different forage meals. *British Journal of Nutrition*, 84(4), 483–494.

<https://doi.org/10.1017/S0007114500001793>

- Rhoads, J. M. (2006). Role of mTOR signaling in intestinal cell migration. *AJP: Gastrointestinal and Liver Physiology*, 291(3), G510–G517.  
<https://doi.org/10.1152/ajpgi.00189.2005>
- Rhoads, R. P., Baumgard, L. H., & Suagee, J. K. (2013). Metabolic priorities during heat stress with an emphasis on skeletal muscle. *Journal of Animal Science*, 91, 2492–2503. <https://doi.org/10.2527/jas2012-6120>
- Ross, J. W., Hale, B. J., Gabler, N. K., Rhoads, R. P., Keating, A. F., & Baumgard, L. H. (2015). Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, 55(11–12), 1381–1390. <https://doi.org/10.1071/AN15267>
- Rothfusz, L. P., & Headquarters, N. S. R. (1990). The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index). *Fort Worth, Texas: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology*, 23–90. Retrieved from [papers://c6bd9143-3623-4d4f-963f-62942ed32f11/Paper/p395](https://papers://c6bd9143-3623-4d4f-963f-62942ed32f11/Paper/p395)
- Sauvant, D. (2004). *Tables of composition and nutritional value of feed materials*.  
<https://doi.org/10.3920/978-90-8686-668-7>
- Schaart, M. W., Schierbeek, H., van der Schoor, S. R. D., Stoll, B., Burrin, D. G., Reeds, P. J., & van Goudoever, J. B. (2005). Threonine utilization is high in the intestine of piglets. *The Journal of Nutrition*, 135(4), 765–70.  
<https://doi.org/10.1093/jn/135/4/765> [pii]
- Schinckel, A. P., & De Lange, C. F. M. (1996). Characterization of Growth Parameters Needed as Inputs for Pig Growth Models. *Journal of Animal Science*, 74(8), 2021–2036. <https://doi.org/10.2527/1996.7482021x>
- Shelton, J. L., Hemann, M. D., Strode, R. M., Brashear, G. L., Ellis, M., Mckeith, F. K., ... Southern, L. L. (2001). Effect of different protein sources on growth and carcass traits in growing–finishing pigs. *J Anim Sci*, 79, 2428–2435.
- Shikata, N., Maki, Y., Noguchi, Y., Mori, M., Hanai, T., Takahashi, M., & Okamoto, M. (2007). Multi-layered network structure of amino acid (AA) metabolism characterized by each essential AA-deficient condition. *Amino Acids*, 33(1), 113–

121. <https://doi.org/10.1007/s00726-006-0412-0>

- Shirazi-Beechey, S. P., Moran, A. W., Bravo, D., & Al-Rammahi, M. (2011). Nonruminant nutrition symposium: Intestinal glucose sensing and regulation of glucose absorption: Implications for swine nutrition. In *Journal of Animal Science* (Vol. 89, pp. 1854–1862). <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3695>
- Silk, D. B., Grimble, G. K., & Rees, R. G. (1985). Protein digestion and amino acid and peptide absorption, (1985), 63–72.
- Spencer, J. D., Gaines, A. M., Berg, E. P., & Allee, G. L. (2010). Diet modifications to improve finishing pig growth performance and pork quality attributes during periods of heat stress The online version of this article , along with updated information and services , is located on the World Wide Web at : Diet modifica, 243–254.
- St-Pierre, N. ., Cobanov, B., & Schmitkey, G. (2003). Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries 1. *Journal of Dairy Science*, 86(31), E52–E77. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)74040-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)74040-5)
- Stahly, T. S., & Cromwell, G. L. (1979). Effect of environmental temperature and dietary fat supplementation on the performance and carcass characteristics of growing and finishing swine. T . S . Stahly and G . L . , 49(79), 1478–1488., 49(79), 1478–1488.
- Torras-Llort, M., Torrents, D., Soriano-García, J. F., Gelpí, J. L., Estévez, R., Ferrer, R., ... Moretó, M. (2001). Sequential amino acid exchange across b0,+ -like system in chicken brush border jejunum. *Journal of Membrane Biology*, 180(3), 213–220. <https://doi.org/10.1007/s002320010072>
- van Milgen, J., & Dourmad, J.-Y. (2015). Concept and application of ideal protein for pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 6(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0016-1>
- Wang, D., Wan, X., Peng, J., Xiong, Q., Niu, H., Li, H., ... Jiang, S. (2017). The effects of reduced dietary protein level on amino acid transporters and mTOR signaling pathway in pigs. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 485(2), 319–327. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2017.02.084>



- White, H. M., Richert, B. T., Schinckel, A. P., Burgess, J. R., Donkin, S. S., & Latour, M. A. (2008). Effects of temperature stress on growth performance and bacon quality in grow-finish pigs housed at two densities. *Journal of Animal Science*, 86(8), 1789–1798. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0801>
- Wilson, T. E., & Crandall, C. G. (2012). Effect of Thermal Stress on Cardiac Function, 39(1), 12–17. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e318201eed6.Effect>
- Wittmann, C., & Becker, J. (2007). The L-lysine story. *Minerva Gastroenterologica E Dietologica*, 43(4), 189–196. <https://doi.org/10.1007/7171>
- Wu, G. (2009). Amino acids: Metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, 37(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00726-009-0269-0>
- Wu, G., Bazer, F. W., Dai, Z., Li, D., Wang, J., & Wu, Z. (2014). Amino Acid Nutrition in Animals: Protein Synthesis and Beyond. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2(1), 387–417. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022513-114113>
- Wu, L. (2015). Effects of reducing dietary protein on the expression of nutrition sensing genes (amino acid transporters) in weaned piglets. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 16(6), 496–502. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1400259>
- Yen, J. T. (2001). Anatomy of the digestive system and nutritional physiology. *Swine Nutrition*, 2, 31–64. <https://doi.org/doi:10.1201/9781420041842.ch3>
- Yen, J. T., Kerr, B. J., Easter, R. A., & Parkhurst, A. M. (2004). Difference in rates of net portal absorption between crystalline and protein-bound lysine and threonine in growing pigs fed once daily. *Journal of Animal Science*, 82(4), 1079–1090. <https://doi.org/10.2527/2004.8241079X>
- Yu, J., Yin, P., Liu, F., Cheng, G., Guo, K., Lu, A., ... Xu, J. (2010). Comparative Biochemistry and Physiology , Part A Effect of heat stress on the porcine small intestine : A morphological and gene expression study. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 156(1), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.008>