

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



EFEECTO DEL NIVEL DE CONSUMO DE ALIMENTO EN LA TEMPERATURA
CORPORAL DE CERDOS EN ESTRÉS POR CALOR

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA:

DUCKENS ANTOINE

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. MIGUEL CERVANTES RAMÍREZ

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

FEBRERO 2019

La presente tesis titulada “Efecto del nivel de consumo de alimento en la temperatura corporal de cerdos en estrés por calor”, realizada por Duckens Antoine, fue dirigida por el Dr. Miguel Cervantes Ramírez, siendo aceptada, revisada y aprobada por el Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

COMITÉ PARTICULAR

PRESIDENTE/DIRECTOR



Dr. Miguel Cervantes Ramírez

SINODAL



Dra. Adriana Morales Trejo

SINODAL



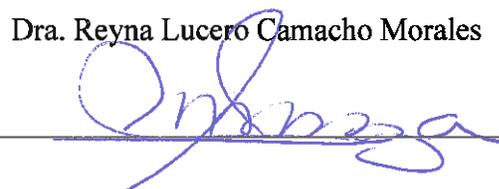
Dr. Ernesto Avelar Lozano

SINODAL



Dra. Reyna Lucero Camacho Morales

SINODAL



M.C. Salvador Espinoza Santana

POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar de todo corazón mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que me brindaron su colaboración, sus conocimientos, su ayuda incondicional, su apoyo económico y sobre todo su amistad durante la realización de esta investigación. Este es el esfuerzo de un gran equipo de trabajo, a cada uno de ellos, Gracias.

A **Dios**, esa fuerza superior en quién muchos no creen y se respeta, pero a ese ser que es omnipotente, quien me regalo a mí familia, quien me regala cada amanecer y por sobre todo quien me regala el entendimiento para realizar cada reto de vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios de posgrado.

Al Cuerpo Académico de Nutrición Animal (**CANA**) y todos sus integrantes.

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

DEDICATORIA

- A **DIOS**, por el éxito y la satisfacción de este trabajo de tesis, quien me regala los dones de la sabiduría para enfrentar los retos, las alegrías y los obstáculos que se me presentan constantemente.
- A la memoria de mis queridos padres Luders Antoine y Denise Cléus, quienes desde la gloria del señor ven realizado el sueño de padre; mi sincero agradecimiento por haberme depositado su confianza e impartido sus sabios consejos.
- A mis hermanos Fritzner Antoine, Rodrigue Antoine y Juna Antoine por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesto a escucharme y ayudarme en cualquier momento.
- A mi querida esposa Emerine Pierre por apoyarme y estar siempre a mi lado te adoro mi princesa.
- A mi princesita Emelissa Kensie Antoine, quien amo con todo mi corazón porque ella es la razón de mis sacrificios de hoy en día.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIA	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE CUADROS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
LISTA DE ABREVIATURAS	10
RESUMEN	11
I. INTRODUCCIÓN	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1. Estrés por calor	14
2.2. Alto impacto económico	14
2.3. Métodos para corregir el estrés por calor en cerdos	15
2.4. Temperatura corporal	15
2.5. Consumo de alimento y temperatura corporal (TC) en ganado porcina	17
III. JUSTIFICACIÓN	20
IV. HIPÓTESIS	20
V. OBJETIVO	22
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	23

6.1.	Animales y procedimiento experimental.....	23
6.2.	Análisis estadístico	26
VII.	RESULTADOS	27
7.1.	Parámetros Productivos	27
7.2.	Temperatura ambiental	27
7.3.	Variación en la TC de cerdos en EC.....	29
VIII.	DISCUSIÓN	39
IX.	CONCLUSIÓN	46
X.	REFERENCIAS	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición experimental de las dietas (según alimentación)	26
Cuadro 2. Efecto del nivel de consumo sobre el peso de los animales.....	28
Cuadro 3. Promedios diarios de temperatura ambiente registrados dentro de la sala donde se alojaron los cerdos.....	30
Cuadro 4. Promedios por hora de la temperatura corporal de los cerdos en estrés térmico con alta (ACA) o baja (BCA) para cada período experimental durante todo el estudio	34

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** La temperatura ambiente (habitación) registrada a intervalos de 15 minutos. Cada punto representa la media de 180 datos registrados29
- Figura 2.** La variación en la TC registrada en promedio durante 24h, en los cerdos que consumieron 960 o 1,200 g/d de alimento grabado en intervalos de 5 minutos (cada punto representa la TC promedio de 81 datos registrados), ACA(alto consumo), BCA(bajo consumo)..32
- Figura 3.** Análisis de regresión lineal entre la temperatura ambiente y la temperatura corporal posprandial de los cerdos con estrés térmico con alta consumo (ACA) o baja (BCA), durante un período de 5 horas después de cada hora de alimentación (mañana, mañana, tarde, mediodía y noche33
- Figura 4.** Promedios de temperatura corporal registrados en cerdos con alto consumo de alimento (ACA) o bajo (BCA), durante 5 horas después de la comida de la mañana, la tarde, la noche, y en general.36
- Figura 3.** La temperatura corporal posprandial matutina (TC) cambia (Δ) en comparación con la TC preprandial (basal) en cerdos con estrés térmico con alto consumo de alimento (ACA) o bajo (BCA).....37

Figura 4. La temperatura corporal posprandial (TC) por la tarde cambia (Δ) en comparación con la TC preprandial (basal) en cerdos con estrés por calor con alto consumo de alimento (ACA) o bajo (BCA).38

Figura 5. La temperatura corporal posprandial (TC) por la noche cambia (Δ) en comparación con TC preprandial (basal) en cerdos con estrés calórico con alto consumo de alimento (ACA) o bajo (BCA).39

LISTA DE ABREVIATURAS

ACA.- Alto consumo de alimento

BCA.- Bajo consumo de alimento

CA- consumo de alimento

CVA.- Consumo voluntario de alimento

DIE.- Digestibilidad ileal estandarizada

EC.- Estrés por calor

EN.- Energía neta

ETA.- Efecto térmico de alimento

GDP.- Ganancia diaria de peso

PV.- Peso vivo

TA.- Temperatura ambiente

TC.- Temperatura corporal

TN.- Termoneutral

RESUMEN

El consumo de alimento (CA) afecta la producción de calor corporal en los cerdos, su exposición a estrés por calor (EC) también aumenta su temperatura corporal (TC). Sin embargo, no está claro si el nivel de CA afecta la producción de calor de cerdos en EC. Se analizó el efecto del nivel de CA en la TC de 9 cerdos en EC (46.3 ± 2.6 kg, PV) implantados con un termógrafo en íleon que registró su TC cada 5 min. Otro termógrafo instalado en la sala donde se alojaron los cerdos registró la temperatura ambiente (TA) cada 15 min. Los cerdos se asignaron aleatoriamente a dos tratamientos de consumo: alto (ACA, 1.20 kg / d) y bajo (BCA, 0.96 kg / d), de acuerdo con un diseño de sobre-cambio con dos periodos. La alimentación fue tres veces al día (0600, 1200 y 2200 h), la misma cantidad en cada horario (400 g ó 320 g). La TA varió de 29.0 a 35.4°C. La TC de cerdos de ACA y BCA siguieron un patrón similar a lo largo de las 24 h, pero en cerdos ACA la TC fue mayor que la en cerdos BCA ($P < 0.05$). La TC postprandial por la tarde y la noche fue más alta que después de la comida de la mañana ($P < 0.05$). El incremento postprandial de la TC difirió entre tiempos de comida y TA, pero no entre niveles de CA. Las TC de cerdos ACA y BCA aumentaron 0.18 y 0.22°C, 0.60 y 0.61°C, y 0.24 y 0.35°C después de la alimentación de la mañana, tarde y noche, respectivamente, en comparación con su TC preprandial ($P < 0.05$). La capacidad de disipación del calor corporal relacionado con la alimentación parece depender de la carga térmica de los cerdos en EC antes de alimentarse; presumiblemente, la carga térmica antes de la comida de la mañana ($TA < 32^\circ\text{C}$) fue menor que antes de la nocturna ($TA > 32^\circ\text{C}$). En conclusión, el nivel de consumo de alimento afecta a la TC postprandial de los cerdos en EC y su magnitud es mayor después de las comidas de la tarde y la noche. Estos datos sugieren que los cerdos en EC pueden reducir el consumo voluntario de alimento durante las horas de la tarde y de la noche.

Palabras clave: Cerdos, estrés por calor, consumo de alimento, temperatura corporal.

I. INTRODUCCIÓN

La producción porcina se realiza principalmente en áreas del mundo donde los cerdos están expuestos, temporal o permanentemente, a temperatura ambiente (TA) por encima de la zona termo neutral (TN), lo que resulta en estrés por calor (EC). Una reducción en el consumo de alimento (CA), que resulta en una disminución significativa del rendimiento del cerdo (Kerr *et al.*, 2003, Pearce *et al.*, 2013) es el impacto más importante del EC. Basados en los modelos de St-Pierre *et al.* (2003), la pérdida económica estimada asociada con la reducción del rendimiento de los cerdos en EC en México supera los US \$ 100 millones / año.

Como animales homeotermos, los cerdos mantienen relativamente constante su temperatura corporal (TC) en un cierto rango de TA (Rezende y Bacigalupe, 2015). A baja TA los cerdos generan calor a través del aumento del metabolismo basal (Adair y Black, 2003) y el aumento del efecto térmico de la alimentación (ETA; Levine, 2004), pero a alta TA los cerdos utilizan un mecanismo bien regulado para disipar el calor al medio ambiente (Morera *et al.*, 2012) y para prevenir la producción de exceso de calor corporal (Quiniou *et al.*, 2001; Kerr *et al.*, 2003). Los cerdos por estrés térmico aumentan la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y el flujo sanguíneo periférico para promover la pérdida de calor (Wilson y Crandall, 2011), y disminuyen el consumo voluntario de alimento (CVA) para reducir la producción de calor en el cuerpo (Huynh *et al.*, 2005; Renaudeau *et al.*, 2010). No obstante, cuando la TA excede la capacidad de los cerdos para disipar el exceso de calor, la TC puede aumentar a valores críticos. Se ha informado un incremento de hasta 2.0 °C en la TC de cerdos expuestos a TA alta (Morales *et al.*, 2016a; Cervantes *et al.*, 2017). Por lo tanto, la TC de los cerdos depende del equilibrio entre la TA, la producción de calor corporal y su capacidad para disipar el calor.

El ETA, puede depender del nivel de CA, incluye el calor producido durante los procesos de ingestión-digestión y metabolismo del alimento (Collin *et al.*, 2004). Recientemente, informamos un rápido aumento en la TC de cerdos TN, que osciló entre 0,62 y 0,66°C, después de que los cerdos consumieran sus comidas (Morales *et al.*, 2018). Sin embargo, no se ha informado la magnitud del cambio de TC en los cerdos en EC debido al ETA a diferentes niveles de CA. Suponiendo que los cerdos expuestos a alta TA aumenten su TC en 2.0 °C, un incremento adicional de 0.66 °C en la TC debido al ETA puede afectar seriamente su salud.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Estrés por calor

En México, la producción de cerdos se realiza generalmente en regiones donde la temperatura ambiente (TA) es superior a la temperatura de confort de los animales, generando estrés por calor (EC). Los efectos más notorios e importantes del EC son el incremento en la temperatura corporal (Pearce *et al.*, 2014). Actualmente, el estrés se refiere al estado fisiológico, de comportamiento y psicológico que se presenta en el animal cuando éste se confronta, desde el punto de vista animal, a una situación potencialmente amenazante (Terlouw, 2005).

Cuando la temperatura ambiente alcanza valores críticos, la capacidad del animal para eliminar calor no es suficiente para mantener la temperatura corporal sin cambios, elevándola hasta en 2 °C (Morales *et al.*, 2016), lo que se asocia al EC. En general, el EC se define como una serie de alteraciones en la fisiología, el metabolismo y el comportamiento de los animales expuestos a altas temperaturas ambientales (Horowitz *et al.*, 2004). Entre estas modificaciones destacan el aumento en la temperatura corporal (TC), o rectal (Sanz Fernandez *et al.*, 2014) y la reducción en el consumo voluntaria de alimento (Aberle *et al.*, 1974; Huynh *et al.*, 2005; Zumbach *et al.*, 2008; Renaudeau *et al.*, 2010). Adicionalmente, el calor resultante de la digestión y metabolismo (Noblet *et al.*, 1994) podría elevar aún más la TC (Christison y Johnson, 1972; Collier *et al.*, 1982; Hahn, 1999; Patience *et al.*, 2005). Como respuesta, el animal tiende a elevar el gasto cardiaco hacia la periferia para lograr la disipación de calor (Wilson y Crandall, 2011). Esta redirección sanguínea genera una vasoconstricción (Lambert, 2009) en órganos internos principalmente en el tracto gastrointestinal, reduciendo el aporte adecuado de oxígeno y de nutrientes, el cual puede causar daños severos a las células intestinales, así como una

considerable reducción en el tamaño y profundidad de vellosidades y criptas respectivamente (Yu *et al.*, 2010; Cui y Gu, 2015). Todas estas alteraciones en el epitelio intestinal influyen negativamente sobre la digestión y absorción de nutrientes alterando el rendimiento de animales (Liu *et al.*, 2009) en crecimiento, ganancia diaria de peso, reproducción y salud (Yu *et al.*, 2010).

2.2. Alto impacto económico

La pérdida de la producción porcina debido a una temperatura ambiental elevada está justificada no solamente en las áreas tropicales sino también en países de zonas templadas, en las cuales el estrés por calor es un problema ocasional notable durante los meses de verano.

En la industria porcina mexicana el EC provoca pérdidas económicas que supera US \$ 100 millones/año (St-Pierre *et al.*, 2003). En Norteamérica, Australia y Europa, el estrés por calor causa pérdidas económicas considerables. Por ejemplo, las pérdidas económicas soportadas por la industria porcina de Estados Unidos debidas al estrés por calor se estimaron en alrededor de 300 millones de dólares por año (St-Pierre *et al.*, 2003). La porción de esta pérdida económica corresponde al incremento de la mortalidad, crecimiento subóptimo, uso inadecuado de los nutrientes, baja ganancia de las cerdas, reducción del valor de la canal y problemas en el desarrollo de la canal (St-Pierre *et al.*, 2003). Estas pérdidas podrían incrementarse debido al calentamiento climático.

2.3. Métodos para corregir el EC en cerdos

Los métodos más comunes para reducir el EC en los cerdos durante el verano son: asegurar un buen suplemento de agua fresca, enfriamiento de la piel (a través del agua o lodo),

alimentar con dietas de mayor densidad de nutrientes, y proporciona ventilación, espacio y sombra adecuados (Whitney, 2008). Además, algunos autores (Westerterp, 2004; Morales *et al.* 2017) surgieren sustituir proteínas por aminoácidos libres.

2.4. Temperatura corporal

Como se mencionó antes, la exposición de los cerdos a la temperatura ambiente (TA) elevada aumenta su temperatura corporal (TC), lo que resulta en EC (Pearce *et al.*, 2013). Por lo anterior, la TC puede utilizarse para determinar si un animal se encuentra bajo condiciones de EC (Wilson and Crandall, 2011). Ésta TC se ha medido en recto (Pearce *et al.*, 2014), superficial en la piel (Yu *et al.*, 2009), subcutánea (Morales *et al.*, 2016a), óptica (Morales *et al.*, 2016b) y en órganos internos (Morales *et al.*, 2015; 2016c). En general, los cerdos pueden conservar su TC mediante varios mecanismos, por ejemplo, pueden transferir el calor de órganos internos hacia la superficie redirigiendo la circulación sanguínea (Huynh *et al.*, 2005), o mediante el incremento en la tasa respiratoria (Pearce *et al.*, 2013; 2014). En algunos estudios se han observado incrementos de hasta 200% en la tasa respiratoria de cerdos en EC (Morales *et al.*, 2016a; Pearce *et al.*, 2014).

Diferentes estudios mostraron una relación muy cercana entre la TA donde se exponen los cerdos y su TC (Morales *et al.*, 2015; 2016a). La TC de cerdos en EC refleja los cambios en la TA a lo largo del día. Sin embargo, cuando se eleva la TA por encima de la zona de confort de los animales el incremento en la tasa respiratoria no es suficiente para mantener la TC sin cambios (Arce *et al.*, 2013).

2.5. Consumo de alimento y temperatura corporal en ganado porcino

En muchos estudios se ha observado una relación estrecha entre la TA a la que se exponen los cerdos y su TC (Morales *et al.*, 2015; 2016a). La TC de cerdos en EC refleja los cambios en la TA a lo largo del día (Morales *et al.* 2016). Por otra parte, es bien conocido que el hecho de consumir el alimento y el proceso de digestión-absorción-metabolismo de los nutrientes genera calor adicional. Cuando los cerdos se alojan bajo condiciones de confort la TC post-prandial se eleva ligeramente (Morales *et al.* 2017). Sin embargo, el consumo y digestión de alimento por cerdos en EC eleva la TC, aún por arriba del aumento provocado por la exposición a TA superior a la TC de los animales (Westerterp, 2004); Le Bellego *et al.*, 2002).

El efecto más significativo del EC en los cerdos es la reducción marcada (hasta 40%) en el consumo voluntario de alimento (CVA; Huynh *et al.*, 2005; Morales *et al.*, 2015), pero su exposición a TA elevada, más que el calor de la digestión-metabolismo del alimento consumido, es la principal causa de la reducción en el CVA. Esta reducción del CVA es una adaptación que permite a los cerdos producir menos calor debido al efecto térmico de los alimentos (Noblet *et al.*, 1993).

Según (Quiniou 2000), las temperaturas corporales elevadas de cerdas durante la lactancia, comparadas con las de los períodos preparto y post-destete, están relacionadas con el aumento de la producción de calor metabólico debido a un consumo elevado de alimento y a la producción de leche. Las cerdas de primer y segundo parto tienen tendencia a comer menos, así como cerdas muy grandes o con sobrepeso, algunas de ellas tienen tendencia a estar más afectadas por los efectos de las altas temperaturas (Quiniou 2000). El consumo diario de alimento

viene marcado por otros criterios tales como la frecuencia y el volumen de las comidas. Alrededor de 18 °C, la cerda en lactación alimentada a voluntad con una media de 7 comidas diarias de más de 1300 g cada una. Tras una exposición a 29 °C, la cerda reduce el volumen de su comida alrededor de 500g, así como su frecuencia. En condiciones similares, el cerdo en crecimiento reduce su consumo, reduciendo únicamente el volumen de alimento ingerido en cada comida (Quiniou 2000).

Estas dos respuestas no son contradictorias puesto que a 29 °C el estrés térmico sufrido por la cerda es mucho más intenso que para el cerdo en crecimiento. En efecto, 29 °C es un valor superior en 9-10 °C a la temperatura crítica de evaporación de la cerda en lactancia, pero solamente 4-5 °C a la del cerdo en crecimiento (Quiniou 2000). El comportamiento alimenticio de las cerdas lactantes se encuentra mayormente influenciado por los cambios de hora en el día. Con una alimentación *ad-libitum*, el número medio de comidas diarias es de 7-10 con un consumo de unos 800-1200 g (Quiniou *et al.*, 2000b; Renaudeau *et al.*, 2002).

Cuando la TA alcanza valores críticos el aumento en la tasa respiratoria no es suficiente para mantener la TC sin cambios por lo que esta se eleva (Arce *et al.*, 2013; Pearce *et al.*, 2014). En un estudio realizado por Morales *et al.*, (2016) se midió la temperatura ileal de cerdos expuestos a TA que fluctuó diariamente desde el confort (aprox. 24 °C) a valores superiores a los 40 °C, y en cerdos alojados en condiciones constantes de confort. En promedio, la temperatura ileal de cerdos en EC fue 1.6 °C superior a la de los que se alojaron en confort. Aún más, la TC de cerdos en EC registrada entre las 1600 y 2000 h fue 2.8 °C superior que en los cerdos confort. Estos incrementos se han observado de manera consistente en otros estudios realizados en este laboratorio (Morales *et al.*, 2015; 2016b; 2016c). Asimismo, incrementos similares (aprox. 1.5 °C) en la temperatura rectal fueron publicados por otros autores (Yu *et al.*, 2010; Pearce *et al.*,

2013; 2014), quienes además observaron daños en el epitelio intestinal de los cerdos en EC. Estos daños pueden afectar la integridad del epitelio intestinal y en consecuencia su capacidad digestiva y de absorción de nutrientes.

III. JUSTIFICACIÓN

Uno reto importante en la producción porcina es mantener un adecuado nivel de consumo de alimento para lograr un mayor rendimiento. Pero cuando la producción de cerdos se realiza en zonas de temperatura ambiental elevada, se observa una reducción en el consumo de alimentos y elevación de la TC de los animales. Además, debido a que el cerdo no tiene glándulas sudoríparas funcionales, su capacidad de perder calor es prácticamente nula, por lo que se considera un animal muy sensible a las temperaturas elevadas.

Según varios estudios, los cerdos que se encuentran bajo TA elevada padecen de EC. Los efectos más notorios e importantes del estrés por calor son el incremento en la TC y la reducción del consumo voluntario del animal. El consumo de alimento se reduce cuando la TA sobrepasa la zona de confort de los cerdos, cuyo rango está entre los 20 y los 24 °C. Esta reducción es una adaptación que permite producir menos calor debido al efecto térmico de alimentación (Noblet *et al.*, 1993).

Por lo tanto, en este trabajo se planteó evaluar el efecto del nivel de consumo de alimento en la TC de cerdos en EC para observar el nivel del incremento de la producción de calor corporal, utilizando las condiciones climatológicas del verano en el valle de Mexicali donde la temperatura ambiental puede alcanzar los 45 °C.

IV. HIPÓTESIS

Los cerdos aclimatados a las condiciones del estrés por calor son capaces de disipar más calor corporal que los cerdos termoneutrales, por lo tanto, el aumento de temperatura corporal asociado con el efecto térmico de alimento puede ser menor en los cerdos en estrés por calor que en los cerdos termoneutrales.

V. OBJETIVO

Analizar el efecto de dos niveles de consumo de alimento en la temperatura corporal de cerdos en crecimiento expuestos a condiciones del estrés por calor.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Animales y procedimiento experimental

Los cerdos utilizados en el siguiente experimento fueron atendidos de acuerdo con las pautas establecidas en el Reglamento Oficial Mexicano sobre Cuidado Animal (NOM-062-Z00, 1999, 2001).

El presente experimento fue realizado durante el verano en el noroeste de México, donde TA alcanza 45 °C. Se emplearon 9 cerdos cruzados (Landrace x Hampshire x Duroc) que fueron adaptados quirúrgicamente con una cánula en íleon terminal de acuerdo con los procedimientos descritos por Sauer *et al.* (1983). Se administró de xilazina como preanestésico e isoflurano como anestesia inhalada. Al término de la cirugía, se administraron antibiótico (oxitetraciclina) y analgésico (Metamizol) durante los siguientes 5 días. Después de 15 días de recuperación de la cirugía, se inició el experimento. Al inicio del experimento los cerdos tenían un peso corporal de 46.3 ± 2.6 kg. A través de la cánula de cada cerdo se introdujo un termógrafo (Thermotracker BT; iButtonLink LLC, Whitewater, WI, EE. UU.) programado para registrar la temperatura intestinal a intervalos de 5 minutos. Estos termógrafos permitieron recolectar los datos de temperatura intestinal sin causar ninguna perturbación a los cerdos. El proceso de digestión y absorción se lleva a cabo a nivel intestinal, por lo tanto, cualquier diferencia en consumo de alimento se puede reflejar en cambios en la temperatura intestinal de los cerdos.

Todos los cerdos fueron expuestos a TA natural, y alojados individualmente en corraletas de metabolismo (1.2 m de ancho, 1.2 m de largo y 1.0 m de alto) con piso elevado de malla de hierro, equipadas con un comedero de acero inoxidable y un bebedero de agua de tipo chupón. La TA y humedad relativa dentro de la sala se registró durante todo el estudio con un

Higrotermógrafo (Thermotracker HIGRO; iButtonLink LLC, Whitewater, WI, EE. UU.). Se estableció para registrar esos valores cada 15 minutos. La luz en la habitación se mantuvo todo el tiempo. Los cerdos utilizados en el presente experimento fueron atendidos de acuerdo con las pautas establecidas en el Reglamento Oficial Mexicano sobre Cuidado Animal (NOM-062-Z00, 1999, 2001).

Los cerdos se dividieron aleatoriamente en dos grupos de 4 y 5 animales, asignados para los dos tratamientos de alimentación. Los tratamientos fueron los siguientes: alto CA, cerdos alimentado con 1.20 kg / d (ACA); y bajo CA, cerdos alimentados con 0.96 kg / d (BCA). La exposición de cerdos con alta TA reduce su consumo voluntario de 20 % a 40 % (Collin et al., 2001b; Kerr *et al.*, 2003; Morales *et al.*, 2014, 2016a), por lo tanto, un CA de 1.2 kg / d es aprox. 70 % de la ingesta que estos cerdos podrían tener si fueran expuesto a condiciones TN. La alimentación se proporcionó tres veces al día, a las 0600 (mañana), 1400 (tarde) y 2200 h (noche), la misma cantidad de alimento cada vez (400 g para los cerdos ACA y 320 g para los cerdos BCA). Los cerdos fueron entrenados para consumir sus comidas diarias en un lapso de los 30 minutos o menos.

El experimento se realizó en dos períodos de 10 días según un diseño de cruce de la siguiente manera: en el período 1, el grupo de cuatro cerdos era asignado al nivel ACA y el grupo de 5 cerdos fue asignado el nivel BCA; en el período 2, se invirtió el nivel de CA (Hicks, 1993). La dieta, que contenía un 16 % de proteína cruda, se formuló con trigo y soya suplementada con L-lisina cristalina, L-treonina y DL-metionina, vitaminas, y minerales para cumplir con los requisitos de NRC (2012; Cuadro 1). Los ingredientes de la dieta se analizaron para el contenido de aminoácidos (método 982.30; AOAC, 2006). Los contenidos de aminoácidos digestibles ileales estandarizados (DIE) en las dietas se calcularon utilizando el contenido de aminoácidos analizados y los coeficientes DIE para trigo y harina de soya de

acuerdo con Stein *et al.* (2001). El agua estaba a libre acceso para todos los cerdos durante el estudio completo.

Cuadro 1. Composición experimental de las dietas (según alimentación)

Ingredientes	%	Nutriente	%
Trigo	86.64	PC	15.10
Pasta de soya 48%	10.00	DIE Arg	0.85
L-Lys.HCl	0.56	DIE His	0.38
L-Thr	0.14	DIE Ile	0.57
DL-Met	0.06	DIE Leu	1.06
Carbonato de calcio	1.40	DIE Lys	0.98
Fosfato dicálcico	0.65	DIE Met	0.28
Sal yodada	0.35	DIE Phe	0.71
Premezcla de vitaminas y minerales	0.20	DIE Thr	0.59
		DIE Trp	0.18
		EN, MJ/kg	10.02

Suministrado por kg de dieta: Vitamina A, 4800 UI; vitamina D3, 800 UI; vitamina E, 4.8 UI; vitamina K3, 1,6 mg; riboflavina, 4 mg; Ácido D-pantoténico, 7,2 mg; niacina, 16 mg; vitamina B12, 12.8 mg; Zn, 64 mg; Fe, 64 mg; Cu, 4 mg; Mn, 4 mg; YO, 0.36 mg; Se, 0.13 mg. La premezcla fue suministrada por Nutrionix, S.A., Hermosillo, Méjico.

DIE = digestibilidad ileal estandarizado.

Al final del período 1 se extrajeron los termógrafos y un nuevo conjunto de termógrafos se implantaron inmediatamente para el período 2, que a su vez también se recuperaron al final de

este período. Los datos de TC almacenados se recuperaron de todos los termógrafos utilizando el software proporcionado por el proveedor. Para los cálculos y el análisis estadístico se consideraron los datos registrados en d1 a d10 de cada período. Una TC basal se calculó como el promedio de los cuatro valores de TC registrados antes de cada hora de alimentación, de 0540 a 0555 h para la comida de la mañana, de 1340 a 1355 h para la comida de la tarde y de 2140 a 2155 h para la nocturna. La magnitud del cambio en la TC durante las primeras 5 h postprandiales se calculó restando la TC basal de cada TC postprandial individual registrada en cada punto de tiempo específico. También se determinó la ganancia diaria promedio y la relación alimentación: ganancia.

6.2. Análisis estadístico

La TC y los datos de rendimiento se analizaron como un diseño de sobre-cambio con medidas repetidas, donde el tratamiento y el tiempo de muestreo fueron considerados como sujeto y dentro del factor sujeto, respectivamente. El modelo considerado nivel de CA como término fijo, cerdo y período como términos aleatorios. El efecto del nivel de CA en la TC en cada punto de tiempo se comparó usando el método LSD; el efecto residual del nivel de consumo también se analizó. La importancia de la magnitud de los cambios de TC en cada punto en comparación con la TC basal se probó utilizando la prueba de Dunnett (Bretz *et al.*, 2011). Se realizaron análisis de regresión entre TA y TC. Se consideraron los niveles de probabilidad de $P < 0.05$, y $0.05 \leq P < 0.10$ como significativos y tendencias respectivamente.

VII. RESULTADOS

7.1. Parámetros Productivos

Todos los cerdos se mantuvieron saludables durante el experimento independientemente de la exposición a las condiciones del EC. En el Cuadro 2 Se muestran el efecto del nivel de consumo de alimento sobre el peso de los animales. El consumo de alimento, por diseño, era más alto en los cerdos del tratamiento ACA ($P < 0.01$) independientemente de la TA y el tiempo de alimentación (Cuadro 2). Como se esperaba, el promedio diario del aumento de peso fue mayor ($P < 0.01$) y la relación consumo: ganancia tendió a reducirse en los cerdos ACA ($P < 0.079$). No hubo interacción entre el tratamiento (nivel de consumo) y el período ($P > 0.10$).

Cuadro 2. Efecto del nivel de consumo sobre el peso de los animales

Variables	Consumo de alimento		Desviación estándar	P=
	Alto	Bajo		
Ganancia diaria de peso, kg/d	481	317	31	0.004
Consumo diario de alimento, g/d	1.2	960	0	0.001
Consumo : Ganancia	2.49	3.03	0.24	0.079

7.2. Temperatura ambiental

El promedio de TA registrado en intervalos de 15 minutos durante todo el experimento se presenta en la Figura 1. La TA varió de forma cíclica todos los días, dependiendo de la hora del día. La TA más baja (29.2 °C) se registró todas las mañanas a alrededor de las 0630 h, y

gradualmente aumentó a 34° C hasta alrededor de las 1630 h cuando alcanzó la mayor temperatura ($P < 0.05$).

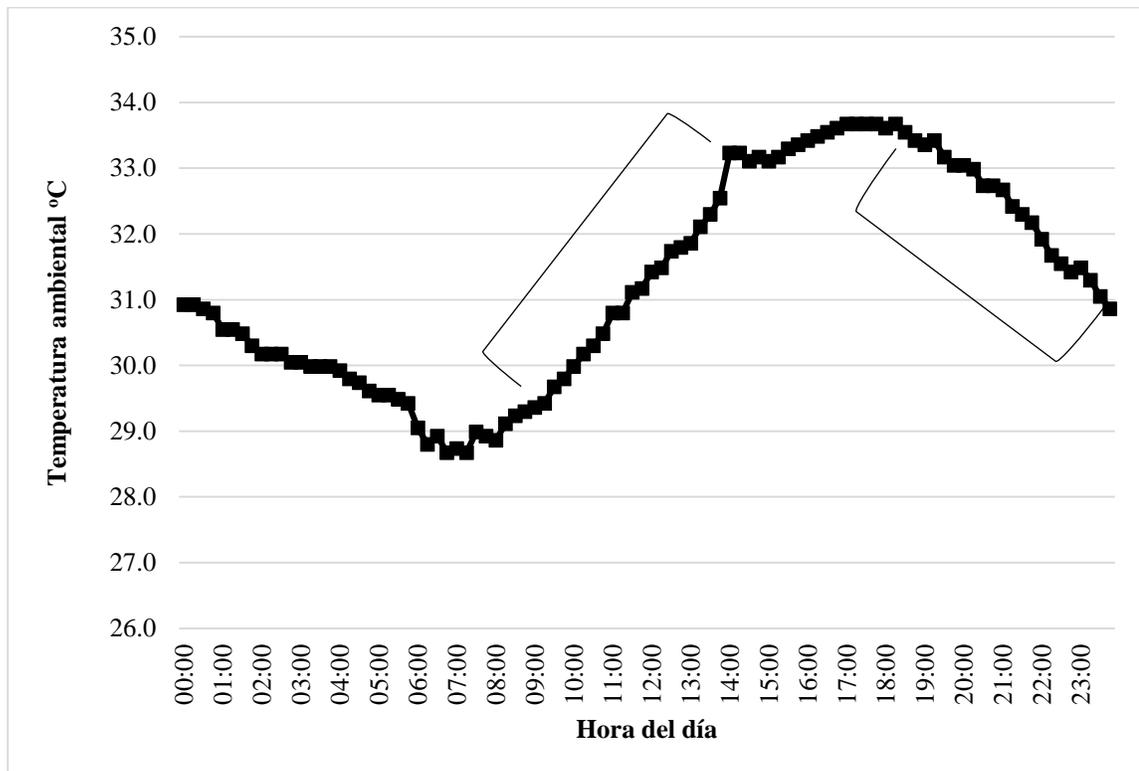


Figura 1. Temperatura ambiental registrada dentro de la sala experimental a intervalos de 15 minutos. Cada punto representa la media de 180 datos registrados.

Durante este período (de 0630 a 1630 h), hubo un aumento lineal ($r^2 = 0.986$) en la TA, equivalente a un incremento de 0.034 °C por cada 15 minutos. Después de alcanzar el valor más alto entre 1600 y 1730 h, la TA disminuyó gradualmente de manera lineal ($r^2 = 0,985$) a partir de aproximadamente las 1800 h hasta alrededor de las 0630 h del día siguiente. La disminución de TA durante este período fue equivalente a 0.033 °C por cada período de 15 minutos. En promedio, hubo una diferencia de 6.2 °C ($P < 0.01$) entre la TA más baja y más alta dentro de cada período de 24 h. El promedio diario de TA (Cuadro 3) varió de 31.6 a 33.1 °C.

Cuadro 3. Promedios diarios de temperatura ambiente registrados dentro de la sala donde se alojaron los cerdos (n = 96).

Día	Promedio	Mínima	Máxima	Desviación estándar
1	32.1	28.6	36.1	2.5
2	33.1	29.1	37.1	2.6
3	32.2	30.6	34.6	1.3
4	31.6	28.6	34.6	1.9
5	32.0	29.1	35.6	2.0
6	32.1	29.1	35.1	1.9
7	31.9	27.6	35.6	2.1
8	32.3	29.1	35.6	2.1
9	32.9	30.1	36.1	2.1
10	32.1	29.7	35.8	1.9

7.3. Variación en la TC de cerdos en EC

El promedio diario de TC registrado a intervalos de 5 minutos se presenta en la Figura 2. La TC de cerdos siguió un patrón similar al de la TA independientemente del nivel de CA, excepto por los incrementos de TC observados justo después de cada tiempo de alimentación. Después de la comida de la mañana, de 0700 a 0730 h, la TC fue más alta ($P < 0.05$) que la TC basal de la mañana (ACA, 40.28 vs. 40.15 °C; BCA, 40.15 vs. 39.98 °C); luego, volvió a los valores basales a partir de las 0845 h ($P < 0.05$) y permaneció allí hasta las 1350 h, 10 minutos antes de que se proporcionara la comida de la tarde. En contraste, la TC registrada 30 minutos después de la comida de la tarde fue más alta ($P < 0.05$) que la TC basal de la tarde (ACA, 40.31

vs. 40.13 °C; BCA, 40.09 vs. 39.91 °C) y continuó aumentando hasta la cena. Asimismo, la TC registrada después de la cena (entre las 0045 y las 0300 h del día siguiente) fue más alta ($P < 0.05$) que la TC basal de la tarde (ACA, 40.65 vs. 40.39 °C; BCA, 40.46 vs. 40.28 °C). Además, independientemente del nivel de CA, la TC registrada entre 1500 y 0400 h del día siguiente fue más alta ($P < 0.05$) que la TC registrada entre 0500 y 1400 h. La TC más baja (39.93 °C) en ambos grupos de cerdos se registró entre las 0900 y 1000 h, mientras que la TC más alta (40.62 °C) se registró entre 1800 y 1900 h ($P < 0.05$) independientemente del nivel de CA. Sin embargo, en promedio, la TC de los cerdos de ACA fue mayor que la TC de los cerdos de BCA ($P < 0.05$).

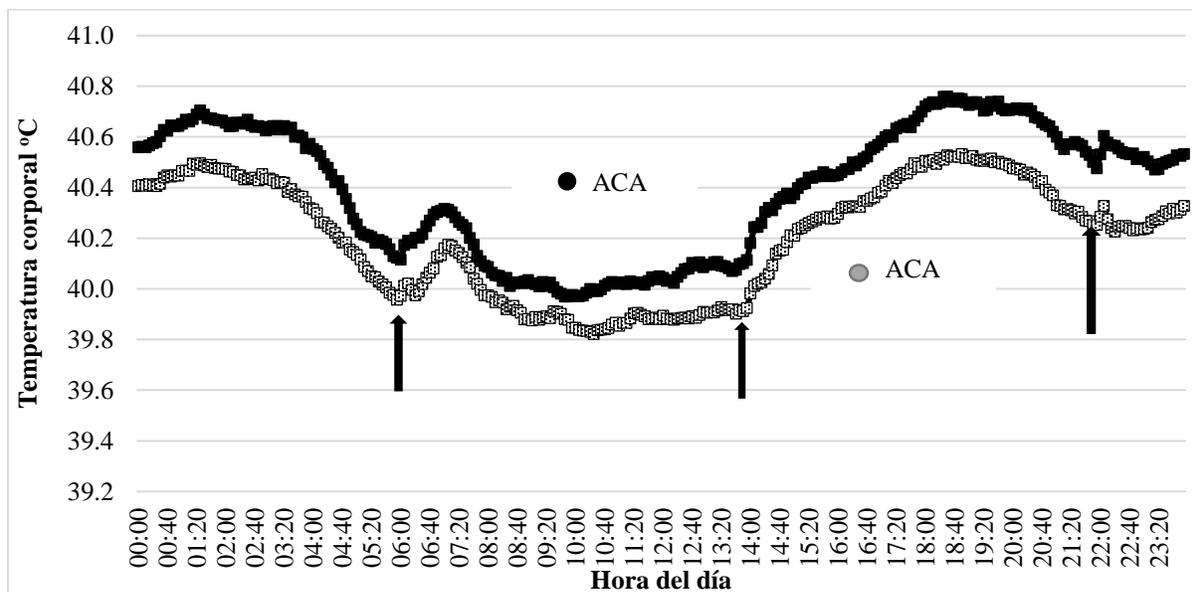


Figura 2. Variación en la TC registrada en promedio durante 24 h en los cerdos que consumieron 960 ó 1,200 g/d de alimento grabado en intervalos de 5 minutos (cada punto representa la TC promedio de 81 datos registrados), ACA (alto consumo), BCA (bajo consumo). Las flechas muestran la hora de alimentación de los cerdos (0600, 1400, y 2200 h).

Los resultados de la regresión lineal entre TA y TC posprandial de los cerdos en EC con ACA y BCA, durante un período de 5 h después de cada comida se presentan en la Figura 3. A pesar del aumento de la TC posprandial, hubo una disminución lineal ($P < 0.01$) en la TC de los cerdos de ACA ($r^2 = 0.59$) y BCA ($r^2 = 0.75$) después de la comida de la mañana, a medida que aumentaba la TA. Del mismo modo, la TC disminuyó linealmente ($P < 0.01$) en los cerdos de ACA ($r^2 = 0.61$) y BCA ($r^2 = 0.57$) después de la cena con el aumento de la TA. En contraste, la TC aumentó linealmente ($P < 0.01$) en los cerdos de ACA ($r^2 = 0.40$) y BCA ($r^2 = 0.51$) después de la comida de la tarde, a medida que aumentaba la TA.

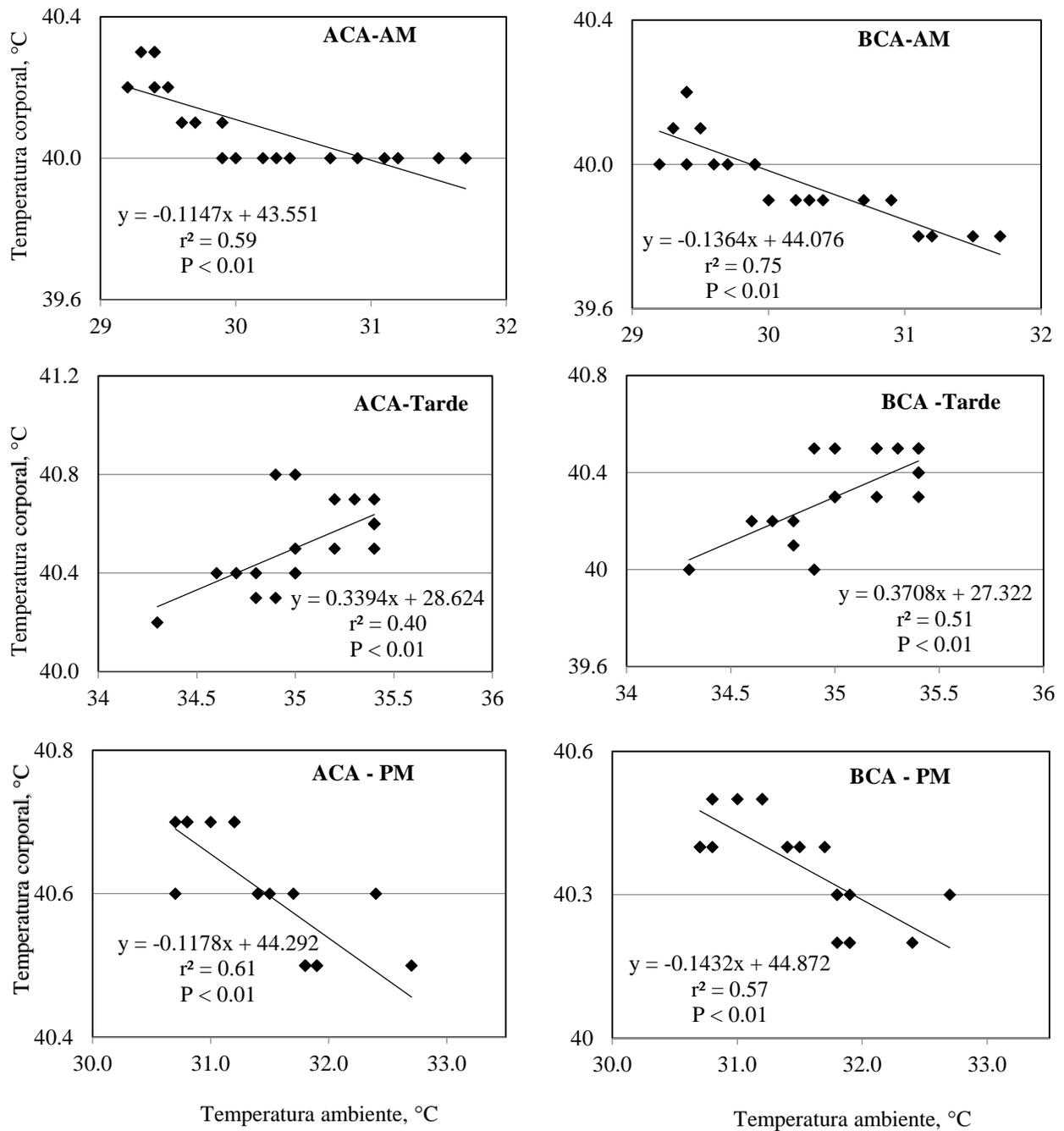


Figura. 3. Análisis de regresión lineal entre la temperatura ambiente y la temperatura corporal posprandial de los cerdos EC con alta ingesta (ACA) o baja (BCA), durante un período de 5 horas después de cada hora de alimentación (mañana, AM; tarde; y noche, PM).

En el Cuadro 4 se presentan las medias por hora de los cerdos en EC con el nivel de consumo de alimento alto o bajo registrado durante los dos períodos experimentales. No hubo interacción entre los períodos experimentales y el nivel de consumo de alimento ($P > 0.10$). En cada uno de los períodos experimentales, la TC fue mayor en los cerdos de ACA ($P < 0.05$).

Cuadro 4. Promedios por hora de la temperatura corporal de los cerdos en estrés térmico con alta (ACA) o baja (BCA) para cada período experimental durante todo el estudio.

Hora	Periodo1			Periodo 2			Total significa	
	ACA	BCA	promedio	ACA	BCA	promedio	ACA	BCA
0.000	40.86	40.52	40.67	40.56	40.31	40.45	40.71	40.42
100	40.98	40.56	40.74	40.64	40.39	40.53	40.81	40.48
200	40.91	40.53	40.70	40.63	40.34	40.5	40.77	40.44
300	41.00	40.45	40.69	40.58	40.32	40.46	40.79	40.39
400	40.82	40.22	40.49	40.39	40.23	40.32	40.61	40.23
500	40.49	40.01	40.23	40.16	40.08	40.12	40.33	40.05
600	40.51	40.03	40.25	40.23	40.04	40.15	40.37	40.04
700	40.60	40.12	40.34	40.22	40.06	40.15	40.41	40.09
800	40.35	39.98	40.14	40.06	39.86	39.97	40.21	39.92
900	40.27	40.00	40.12	40.03	39.74	39.90	40.15	39.87
1000	40.30	39.99	40.13	40.00	39.66	39.85	40.15	39.83
1100	40.38	40.02	40.18	40.01	39.70	39.87	40.20	39.86
1200	40.45	39.99	40.19	40.06	39.77	39.93	40.26	39.88

1300	40.49	39.99	40.21	40.07	39.82	39.96	40.28	39.91
1400	40.70	40.20	40.42	40.28	39.95	40.13	40.49	40.08
1500	40.86	40.39	40.60	40.40	40.10	40.27	40.63	40.25
1600	41.00	40.48	40.71	40.42	40.15	40.30	40.71	40.32
1700	41.11	40.58	40.81	40.52	40.28	40.41	40.82	40.43
1800	41.17	40.62	40.87	40.6	40.38	40.5	40.89	40.50
1900	41.11	40.58	40.81	40.6	40.41	40.51	40.86	40.50
2000	40.75	40.49	40.60	40.58	40.36	40.48	40.67	40.43
2100	40.48	40.35	40.41	40.46	40.22	40.35	40.47	40.29
2200	40.92	40.40	40.63	40.44	40.15	40.31	40.68	40.28
2300	40.92	40.40	40.63	40.44	40.15	40.31	40.68	40.28
Promedio	40.72	40.29	40.50	40.35	40.10	40.23	40.52	40.20

* Efecto del nivel de ingesta de alimento (ACA vs. BCA) en todas las horas: $P < 0.05$

§ Efecto del período experimental: $P < 0.05$.

En la Figura 4 se presenta el promedio de TC registrada durante un período de 5 h después de cada tiempo de alimentación en los cerdos de ACA o BCA expuestos a EC. La TC de los cerdos de ACA fue mayor que el de los cerdos de BCA en cada momento de alimentación ($P < 0,05$); en general, la TC en los cerdos de ACA también fue mayor ($P < 0,05$). Además, la TC después de la alimentación de la mañana fue menor en ambos grupos de cerdos en comparación con la alimentación de la tarde y la noche ($P < 0.05$).

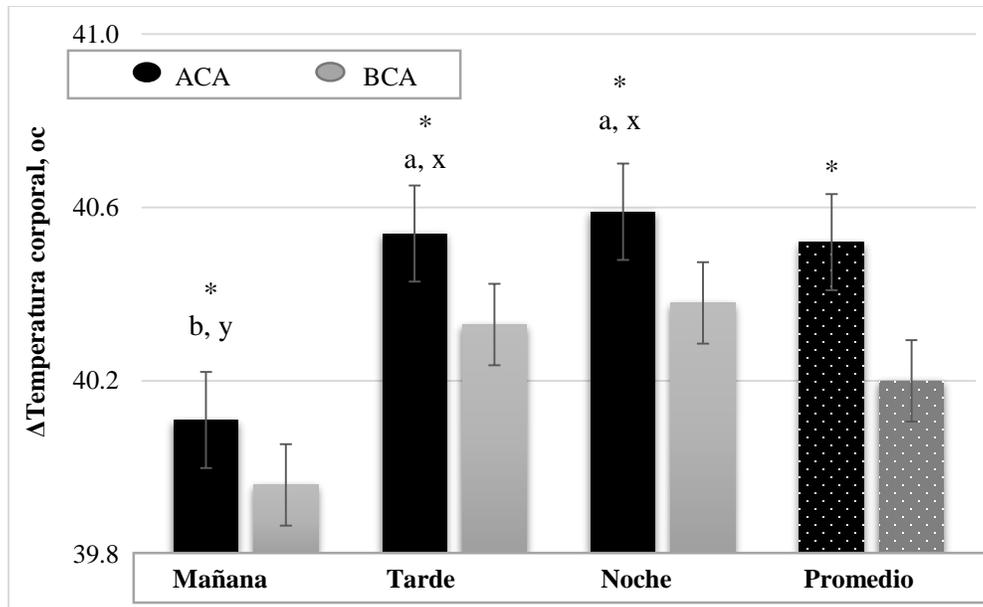


Figura 4. Promedios de temperatura corporal registrados en cerdos con alto consumo de alimento (ACA) o bajo (BCA), durante 5 horas después de la comida de la mañana, la tarde y la noche, y en promedio. Para cada promedio de tiempo de alimentación, $n = 5400$; para la media general, $n = 16,200$. El asterisco (*) en cada período posprandial y la media general representan la diferencia estadística entre los niveles de consumo de alimento ($P < 0.05$). Diferentes letras sobre las columnas negras (a, b) y grises (x, y) significa diferencia estadística ($P < 0.05$).

La magnitud del cambio en la TC registrada durante el período de 5 h (300 min) después de cada comida en comparación con su TC basal respectiva se presenta en las Figuras 5 a 7. Después de la comida de la mañana (Figura 5), la TC de los cerdos de ACA fue $0.12 - 0.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ más alta que la TC basal durante el intervalo de 0635 - 0735 h (desde el minuto 35 - 90 postprandial), pero $0.12 - 0.13\text{ }^{\circ}\text{C}$ más bajo entre el lapso de 0940 - 1010 h (desde el minuto 220 - 250 postprandial; $P < 0.05$). La TC de los cerdos de BCA fue $0.17 - 0.22\text{ }^{\circ}\text{C}$ más alta que la TC

basal durante el intervalo de 0655 - 0720 h (desde el minuto 55–80 postprandial; $P < 0.05$); luego, volvió a descender a valores que no diferían de la TC basal ($P > 0.10$).

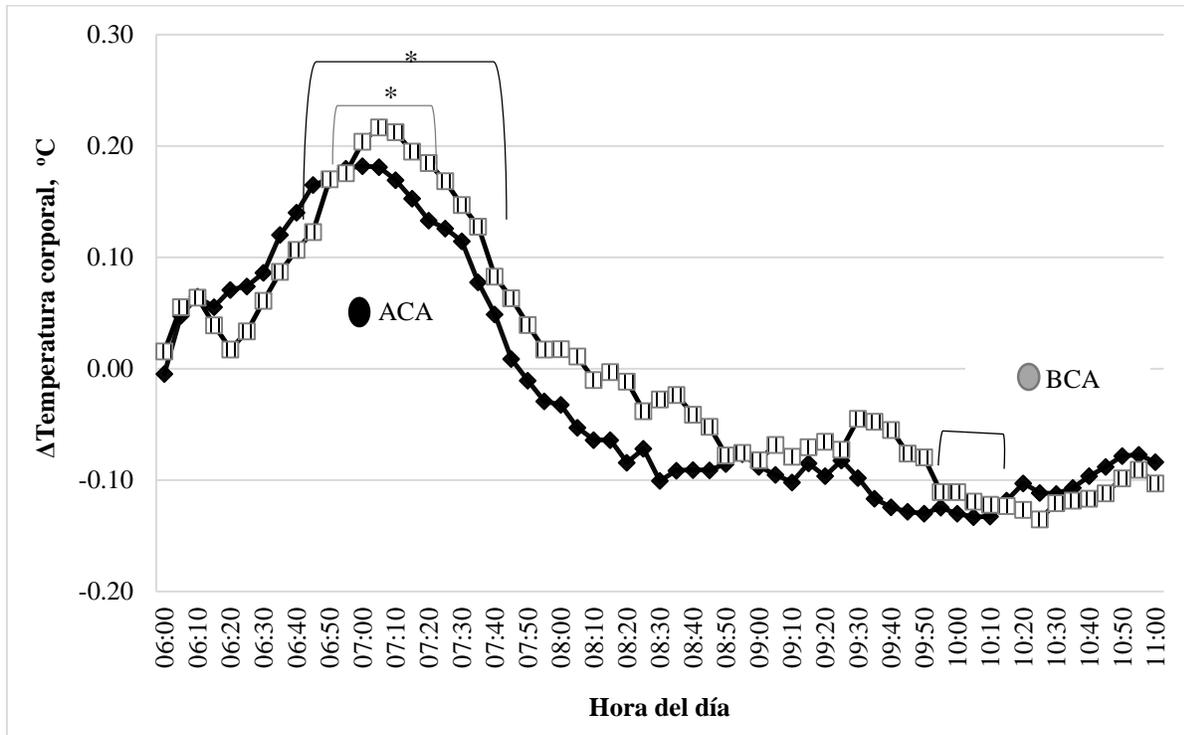


Figura 5. Cambio (Δ) en la temperatura corporal posprandial matutina (TC) en comparación con la TC preprandial (basal) en cerdos EC con alto consumo de alimento (ACA) o bajo (BCA). El basal fue el promedio de la TC registrado durante 20 minutos antes del tiempo de alimentación durante 10 días consecutivos ($n = 9$ cerdos). Cada punto de datos se calculó restando la TC basal registrado cada 5 minutos; los puntos incluidos entre los corchetes difieren ($P < 0.05$) de la TC basal.

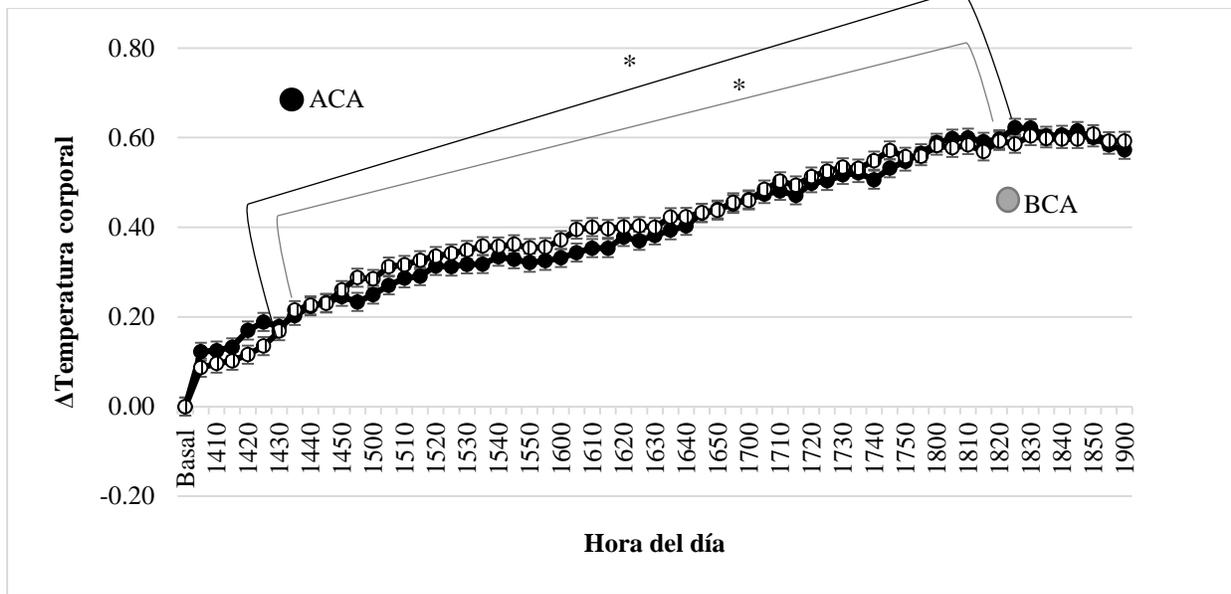


Figura 6. Cambio (Δ) en la temperatura corporal posprandial (TC) de la tarde en comparación con la TC preprandial (basal) en cerdos EC con alto consumo de alimento (ACA) o bajo (BCA). El basal fue la TC promedio registrado durante 20 minutos antes del tiempo de alimentación durante 10 días consecutivos ($n = 9$ cerdos). Cada punto de datos se calculó restando la TC basal registrada cada 5 minutos; los puntos incluidos entre los corchetes difieren ($P < 0.05$) de la TC basal

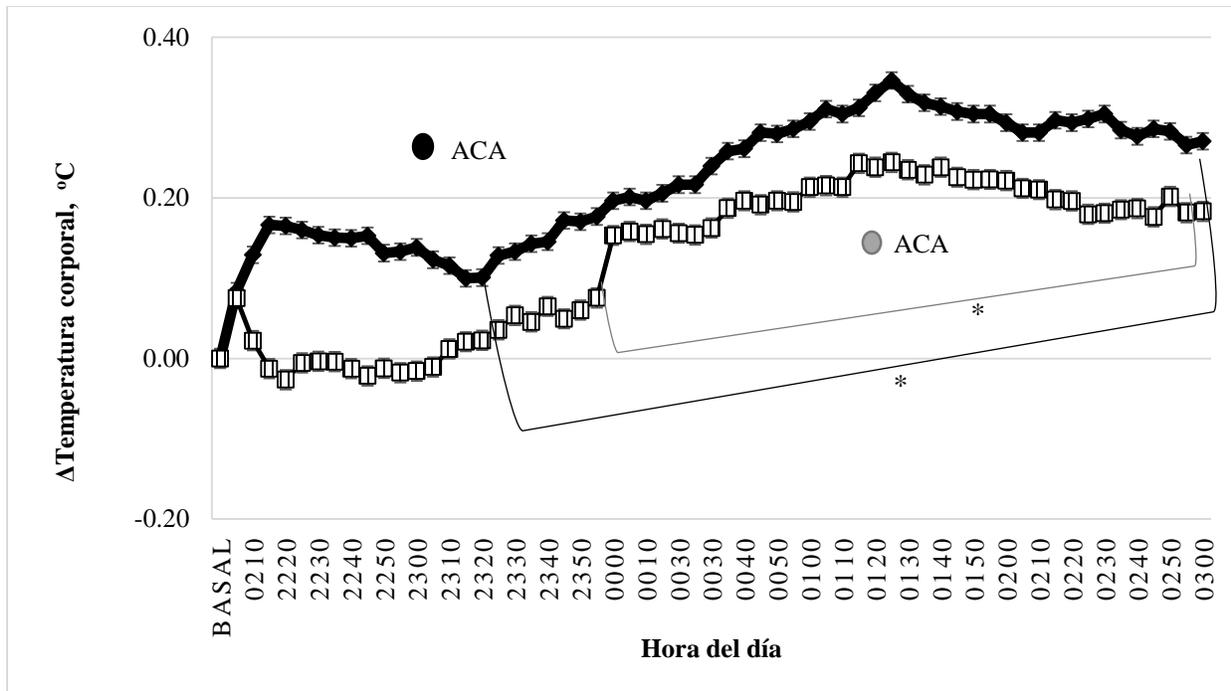


Figura 7. Cambio (Δ) en la temperatura corporal postprandial (TC) por la noche en comparación con TC preprandial (basal) en cerdos EC con alto consumo de alimento (ACA) o bajo (BCA). El basal fue el promedio de la TC registrada durante 20 minutos antes del tiempo de alimentación durante 10 días consecutivos ($n = 9$ cerdos). Cada punto de datos se calculó restando la TC basal registrada cada 5 minutos; los puntos incluidos entre los corchetes difieren ($P < 0.05$) de la TC basal.

En cuanto a la comida de la tarde (Figura 6), la TC de los cerdos de ACA y BCA fue de 0.19 y 0.17 °C, respectivamente, más alta que la TC basal a los 25 minutos postprandial (1425 h) y se mantuvo aún más alta (hasta a 0.61 °C) hasta la cena ($P < 0.05$).

Con respecto a la cena (Figura 7), la TC de los cerdos de ACA fue 0.15 - 0.35 °C más alta ($P < 0.05$) que la TC basal de 2340 a 0300 h (desde el minuto 100–300 postprandial) del día siguiente. La TC de los cerdos de BCA fue 0.15 - 0.24 °C más alta ($P < 0.05$) que la TC basal, de 2400 a 0300 h (desde el minuto 120 hasta el 300 postprandial) de los siguientes días.

VIII. DISCUSIÓN

Los cerdos en crecimiento expuestos a TA por encima de los 25 °C sufren estrés térmico, como lo demuestra la disminución del consumo voluntario, así como el aumento de la TC y la tasa de respiración (Collin *et al.*, 2001a). Sin embargo, cuando se exponen a 33 °C o más, los cerdos reducen severamente el consumo voluntario, y aumentan la TC y la tasa de respiratoria (Collin *et al.*, 2001b; Renaudeau *et al.*, 2010). La zona TN de cerdos en crecimiento varía de 15 a 25 °C (FASS, 2010). Los cerdos utilizados en el presente experimento se expusieron a TA por encima de 25 °C todo el experimento, y a 33 °C o más, aproximadamente durante 10 h todos los días. Por lo tanto, todos los cerdos estuvieron expuestos a condiciones de EC la mayor parte del tiempo. Hay que destacar que estos cerdos habían estado expuestos a estas condiciones ambientales durante 15 días antes de que comenzara el experimento; por lo tanto, según varios autores (por ejemplo, Renaudeau *et al.*, 2010; Yu *et al.*, 2010), podrían estar aclimatados a las condiciones experimentales del EC. Debido a que la temperatura ambiental elevada del verano en las grandes áreas de producción de carne de cerdo del mundo duran 3 - 4 meses, es razonable suponer que los cerdos en estas áreas están aclimatados al EC la mayor parte de la temporada de verano. La exposición de cerdos a alta TA reduce de 20% a 40% su consumo voluntario (Collin *et al.*, 2001b, Kerr *et al.*, 2003, Morales *et al.*, 2014, 2016a). Collin y col. (2001b) informaron una reducción del 30% en el consumo voluntario de cerdos en crecimiento expuestos a 33 °C en comparación con aquellos a 23 °C; esta disminución de consumo fue similar (30%) a la reducción en la GDP. Una respuesta similar fue informada por Kerr *et al.* (2003) utilizando cerdos también expuestos a 23 y 33 °C. En el presente experimento, por diseño, se calculó que el consumo diario de los cerdos de ACA era un 30%

menor que la ingesta estimada que habrían tenido estos cerdos mantenidos bajo condiciones TN (NRC, 2012).

De acuerdo con el diseño, los cerdos de BCA consumieron 20% menos de alimento que los cerdos de ACA, como se esperaría para los cerdos expuestos a condiciones de EC severo (Pearce *et al.*, 2013). El promedio de ganancia diaria de peso de los cerdos de ACA fue comparable al reportado por Collin *et al.* (2001a) y Kerr *et al.* (2003) para cerdos expuestos a 33 °C. Sin embargo, la ganancia diaria de los cerdos de BCA fue 34% más bajo que el de los cerdos de ACA; esta reducción del promedio de ganancia diaria de peso comparada con la reducción de consumo (20%) de los cerdos BCA se reflejó en la disminución de alimentación deprimida: ganancia. Anteriormente se reportó una disminución en la ganancia de peso con cerdos expuestos a TA de hasta 45 °C con el mismo nivel de consumo de alimento (Morales *et al.* 2014). Con base en el peso corporal inicial de los cerdos utilizados en el presente estudio, el requisito de ENm calculado de los cerdos ACA y BCA fue de 5.72 MJ/d (NRC, 2012). Debido a que el consumo de EN fue 12.04 MJ/d para el ACA y 9.62 MJ/d para los cerdos BCA, la EN consumido restante disponible para el crecimiento fue equivalente al 52.4% para los cerdos de ACA, pero al 40.6% para los cerdos de BCA, lo anterior podría afectar no solo la ganancia de peso sino también la eficiencia de la alimentación, lo cual ha sido reportado por Pearce *et al.* (2013).

Actualmente, no hay información disponible sobre el impacto del nivel de CA en la TC de cerdos expuestos a condiciones de EC. La TC de cerdos es el resultado del equilibrio entre la carga térmica y la liberación de calor al ambiente. La temperatura ambiente, radiación, humedad, velocidad del viento (condiciones ambientales), y la producción de calor corporal representan la mayoría de las cargas térmicas; la producción de calor corporal en animales sanos incluye la tasa metabólica basal, el calor producido por la actividad física y el ETA (Van Milgen *et al.*, 1998).

En consecuencia, en condiciones de TN, se espera que la TC de cerdos sanos y en reposo, de peso corporal y genética similar dependa solo de las diferencias de CA. Sin embargo, en TA alta, la TC de esos cerdos dependería tanto del nivel de consumo como de la TA a que están expuestos. En el presente experimento, todos los cerdos estaban sanos, expuestos a las mismas condiciones ambientales y tenían una actividad física baja bastante similar; la única diferencia entre los cerdos ACA y BCA fue la cantidad de alimento que consumió cada cerdo por día, y que según lo informado por Kerr *et al.* (2003) podría afectar el ETA. Por lo tanto, la mayor TC de los cerdos de ACA se atribuye al mayor consumo, que asumimos produjo un ETA más alto en estos cerdos; en promedio, la TC de los cerdos de ACA a lo largo de todo el día fue 0.32 °C más alta que la de los cerdos de BCA. Esta diferencia de TC sugiere que, dentro de las actuales condiciones experimentales de EC, la TC depende del nivel de consumo sin tener en cuenta la TA. Por otro lado, la TC de ambos grupos de cerdos fluctuaba todos los días de forma similar (disminución gradual durante la noche seguida de un aumento gradual durante el día) como lo hizo la TA, pero los cambios de TC fueron ligeramente diferentes de los de TA. El patrón de TC presentado en este documento coincide con el definido en un estudio anterior llevado a cabo en este laboratorio con cerdos expuestos a condiciones TN constantes (Morales *et al.*, 2018). En promedio, la TC registrada durante la tarde (alrededor de las 1600 h) fue de 1.0°C por encima de la TA registrada después la comida de la mañana (alrededor de las 10:30 h). Sin embargo, de 0200 a 0600 h, la TC disminuyó a 0.6 °C mientras que la TA redujo a 1.6 °C. Esta rápida disminución en la TC indica que la capacidad de los cerdos para disipar el calor corporal aumenta durante este período de tiempo, cuando la TA también disminuye.

De acuerdo con otros informes (por ejemplo, Pearce *et al.*, 2013; Morales *et al.*, 2016b; Cervantes *et al.*, 2017), los resultados de este trabajo confirman que la TC de cerdos expuestos a

condiciones variables de EC se ve afectada por la TA; además de que el nivel de consumo de alimento afecta adicionalmente a la TC de los cerdos en EC. A nuestro entender, este es el primer informe que muestra el impacto del nivel de CA en la TC de cerdos en EC.

El tiempo de tránsito de la digesta a través del estómago e intestino delgado de los cerdos alimentados con una dieta típica de cereal y pasta de soya es aproximadamente de 5 h (Wilfart *et al.*, 2007) por lo tanto, es razonable creer que el alimento ingerido fue totalmente digerido dentro de este período de tiempo. De hecho, en el estudio anterior (Morales *et al.*, 2018) se observó un aumento posprandial de TC dentro de los primeros 15 minutos después de la comida, independientemente del nivel de consumo de alimento (1.2 vs. 1.8 kg/d), y este incremento en la TC se mantuvo durante aproximadamente 5 h después de la comida de la mañana, pero por menos de 2 h después de la comida de la tarde. El rápido aumento de TC parece ser causado por la excitación y la actividad física de los cerdos relacionada con esa excitación (saltos, movimiento alrededor del corral, chillido provocado por la presencia de la persona a cargo de alimentarlos) y el proceso de ingestión de alimento (movimiento corporal y masticación). En ese trabajo, el aumento posprandial en la TC de cerdos en condiciones TN se atribuyó casi en su totalidad al proceso de ingestión digestión-metabolismo de los nutrientes (Morales *et al.*, 2018).

En el presente experimento, la TC también aumentó inmediatamente después de que se proporcionó el alimento, pero la duración del incremento difirió del estudio anterior en TN. Después de la comida de la mañana, la TC de ambos grupos de cerdos alcanzó su punto máximo durante la primera hora (ACA, 40.1 vs. 40.3 °C; BCA, 40.0 vs. 40.2 °C) pero en oposición a los cerdos TN, permaneció alta por solo 50 minutos o menos (de 0640 a 0730 h) y luego disminuyó a valores basales alrededor de las 0745 h, y continuó allí hasta la hora de la comida de la tarde, independientemente del aumento de TA. Después de la cena, en contraste con ese estudio, la TA

posprandial se mantuvo más alta que el nivel basal durante aproximadamente 3.5 h (de 2335 a 0350 h) a pesar de la disminución constante de la TA durante el mismo período de tiempo. Hubo relaciones negativas entre TA y TC para los cerdos de ACA ($r^2 = 0.59$) y BCA ($r^2 = 0.75$) durante las 5 h posteriores a la comida de la mañana y después de la cena (ACA, $r^2 = 0.61$; BCA, $r^2 = 0.57$). Sin embargo, la TC después de la comida de la tarde aumentó continuamente durante aproximadamente 5 h en ambos grupos de cerdos (ACA, de 40.2 a 40.8 °C; BCA, de 40.0 a 40.5°C), mostrando una relación positiva ($r^2 = 0.40$ y 0.51) con el incremento en la TA. Curiosamente, las relaciones negativas entre TA y TC se observaron cuando la TA varió de 29 a 33 °C, mientras que la relación positiva se produjo cuando la TA superó los 34 °C.

De acuerdo con Renaudeau *et al.* (2011) los cerdos expuestos a alta TA durante 8 o más días desarrollan cambios adaptativos que aumentan su capacidad para hacer frente a un ambiente caluroso; las variables histológicas (altura de las vellosidades intestinales, Yu *et al.*, 2010) y bioquímicas (proteínas de choque térmico, Pearce *et al.*, 2014; Morales *et al.*, 2016b) pueden explicar los cambios adaptativos de los cerdos en condiciones de EC. Vale la pena mencionar que estos cerdos habían estado expuestos a las condiciones experimentales de EC durante 15 días antes de que comenzara este trabajo. Por lo tanto, el retorno rápido de TC a los niveles basales después de la comida de la mañana sugiere que los cerdos estaban, de hecho, aclimatados a una TA alta, lo que aumentaba su capacidad de disipar el calor corporal. Por otro lado, el incremento posprandial sostenido en la TC y observado después de la comida de la tarde, cuando se registró la TA más alta, sugiere que el efecto combinado de alta TA y ETA podría exceder la capacidad de los cerdos en EC para disipar el calor. Esta aparente disminución de la capacidad de los cerdos en EC para disipar el calor corporal parece mantenerse incluso después de que se consumió la cena a pesar del descenso sostenido de TA. Sin embargo, el balance negativo entre la disipación

de calor del cuerpo y la carga térmica de los cerdos expuestos a condiciones de EC del presente experimento no fue lo suficientemente grande como para afectar su salud.

La magnitud del incremento posprandial en la TC también varió de acuerdo con el horario de la comida y la TA, pero no difirió entre los niveles de consumo en cada momento de alimentación. Después de la comida de la mañana, la TC posprandial de los cerdos ACA y BCA fue 0.14-0.18 °C y 0.17-0.22 °C más alta que la TC registrada justo antes de que se presentara la comida. El aumento de TC después de la comida de la mañana de los cerdos expuestos a condiciones de TN (Morales *et al.*, 2018) duró alrededor de 5 h postprandial y fue más de 4 veces mayor que en el presente experimento. Esta discrepancia puede atribuirse a las diferencias en la cantidad de alimento consumido por los cerdos entre ambos estudios. Sin embargo, los cerdos pueden mantener su TC relativamente constante dentro de cierto rango de condiciones variables de carga térmica corporal a través de un mecanismo termorregulador bien regulado (Adair y Black, 2003). Por lo tanto, el pequeño incremento de TC registrado después de la comida de la mañana en combinación con el mecanismo termoregulador aparentemente activado de los cerdos aclimatados en EC explican más el retorno rápido de TC a los valores basales observados en el presente experimento. Por el contrario, la TC de los cerdos de ACA y BCA durante la comida de la tarde fue 0.18 y 0.17 °C más alta que la TC preprandial en los primeros 25 min postprandial; este incremento se hizo aún mayor (0.61 °C) durante las siguientes 4.5 h posprandiales. Ese incremento fue similar al reportado para cerdos en TN (Morales *et al.*, 2018), y aproximadamente 4 veces mayor que después de la comida de la mañana. Después de la cena, se tardó aproximadamente 1 h y 40 min para que la TC aumentara 0.16 °C (cerdos BCA) y 0.17 °C (cerdos ACA), pero a diferencia de la comida de la mañana, permaneció alta durante aproximadamente 3.5 h postprandial (hasta las 0300 h). A partir de estos resultados, parece que la

capacidad de disipar el calor corporal relacionado con el ETA depende de la carga térmica que reciben los cerdos antes de recibir sus comidas. Presumiblemente, la carga térmica recibida durante el período de 6 h antes de la comida de la mañana (TA por debajo de 32 °C) fue menor que la anterior a la cena (TA por encima de 32 °C). A su vez, se puede esperar una reducción de consumo de alimento voluntario durante las horas de la tarde y de la noche, en comparación con la madrugada. Por lo tanto, esta información puede ser útil al diseñar programas de alimentación para cerdos expuestos a condiciones del EC, especialmente en granjas comerciales equipadas con sistemas de alimentación totalmente automáticos.

IX. CONCLUSIÓN

En general, los resultados del presente estudio confirman datos previamente informados que indican que la TA afecta a la TC de cerdos en EC, pero también muestran que el nivel de consumo contribuye a incrementar la TC de cerdos en EC. Además, parece haber una interacción entre la TA y el nivel de consumo. La TC se vio afectada positivamente por la TA cuando los cerdos se expusieron a 32 °C o más, pero se vio afectada negativamente cuando la TA estaba por debajo de 32 °C. Además, el ETA parece ser afectado directamente por el nivel de consumo de los cerdos en EC, y la capacidad de estos cerdos para disipar el calor corporal parece ser mayor antes de la comida de la mañana en comparación con las comidas de la tarde y la noche. En conclusión, el nivel de consumo tiene un efecto en la TC posprandial de los cerdos expuestos a condiciones de EC. Finalmente, estos datos pueden ser utilizados para diseñar mejores estrategias de alimentación para el cerdo en EC.

X. REFERENCIAS

- Aberle, E. D., Merkel, R. A., Forrest, J. C., and Alliston., C.W., 1974. Physiological responses of stress susceptible and stress resistant pigs to heat stress. *J. Anim. Sci.* 38:954–9.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4826307>
- Adair, E.R., Black, D.R., 2003. Thermoregulatory responses to RF energy absorption. *Bioelectromagnetics Suppl.* 6, S17–S38.
- AOAC, 2006. Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA (2000 p).
- Arce, N., Cota, M., Araiza, B. A., Cervantes, M., and Morales, A., 2013. Heat stress affects the intestinal temperature in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91(E-Suppl. 2):344. (Abstr.)
- Bretz, F., Hothorn, T., Westfall, P., 2011. Multiple comparisons using R. Chapman & Hall/CRC, Taylor and Francis Group LLC: Boca Raton, FL, USA, pp. 186.
- 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. *J. Therm. Biol.* 69, 69–75
- Christison, G. I., and Johnson, H. D., 1972. Cortisol turnover in heat-stressed cow. *J. Anim. Sci.* 35:1005–10. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5085291>.
- Collier, R. J., Beede, D. K., Thatcher, W. W., Israel, L.A., and Wilcox, C. J., 1982. Influences of Environment and Its Modification on Dairy Animal Health and Production. *J. Dairy Sci.* 65:2213–2227. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6759540>

- Collin, A., Lebreton, Y., Fillaut, M., Vincent, A., Thomas, F., Herpin, P., 2004. Effects of exposure to high temperature and feeding level on regional blood flow and oxidative capacity of tissues in piglets. *Exp. Physiol.* 86, 83–91.
- Collin, A., van Milgen, J., Dubois, S., Noblet, J., 2001a. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. *Br. J. Nutr.* 86, 63–70
- Collin, A., van Milgen, J., Le Dividich, J., 2001b. Modelling the effect of high, constant temperature on food intake in young growing pigs. *Anim. Sci.* 72, 519–527.
- Cui, Y., and Gu, X., 2015. Proteomic changes of the porcine small intestine in response to chronic heat stress. *J.Mol. Endocrinol.* 55:277–293.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26416815>
- FASS, Federation of Animal Science Societies, 2010. Guide for the care and use of agricultural animals in research and teaching, 3rd edn. Champaign, IL.
- Hahn, G. L., 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.* 77 Suppl 2:10–20. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15526777>
- Hicks, C.R., 1993. *Fundamental Concepts in the Design of Experiments*, 4th ed. W.B. Saunders Co, Philadelphia, PA.
- Horowitz, M., Eli-Berchoer, L., Wapinski, I., Friedman, N., and Kodesh, E., 2004. Stress-related genomic responses during the course of heat acclimation and its association with ischemic-reperfusion cross-tolerance. *J. Appl. Physiol.* 97.
<http://jap.physiology.org/content/97/4/1496.long>.

- Huynh, T.T.T., Aarnink, A.J.A., Verstegen, M.W.A., Gerrits, W.J.J., Heetkamp, M.J.W., Kemps, B., and Canh, T.T., 2005. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *J. Anim. Sci.* 83:1385–1396.
- Kerr, B.J., Southern, L.L., Bidner, T.D., Friesen, K.G., Easter, R.A., 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *Journal of Animal Science*, 81, 3075–3087.
- Lambert, G.P., 2009. Stress-induced gastrointestinal barrier dysfunction and its inflammatory effects. *J. Anim. Sci.* 87:101–108.
http://www.journalofanimalscience.org/content/87/14_suppl/E101
- Le Bellego, L., van Milgen, J., and Noblet, J., 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80:691–701. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11890404>
- Levine, J.A., 2004. Nonexercise activity thermogenesis (NEAT): environment and biology. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 286, E675–E685.
- Liu, F., Yin, J., Du, M., Yan, P., Xu, J., Zhu, X., and Yu, J., 2009. Heat-stress-induced damage to porcine small intestinal epithelium associated with downregulation of epithelial growth factor signaling. *J. Anim. Sci.* 87:1941–1949.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19213704>.doi:10.2527/jas.2008-1624.
- Morales, A., Buenabad, L., Castillo, G., Arce, N., Araiza, B.A., Htoo, J.K., and 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. *J. Anim. Sci.* 93:2154– 2164. doi:10.2527/jas.2014-8834.

Morales, A., Cota, S.E.M., Ibarra, N.O., Arce, N., Htoo, J.K., Cervantes, M., 2016a. Effect of heat stress on the serum concentrations of free amino acids and some of their metabolites in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 94, 2835–2842.

Morales, A., Grageola, F., García, H., Arce, N., Araiza, B., Yáñez, J., and Cervantes, M., 2014. Performance, serum amino acid concentrations and expression of selected genes in pair-fed growing pigs exposed to high ambient temperatures. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl)*. 98:928–935. doi:10.1111/jpn.12161.

Morales, A., Ibarra N., Chávez M., Gómez T., Suárez., Valle, A., Camacho, R. L., Cervantes, M., 2017. Effect of feed intake level and dietary protein content on the body temperature of pigs housed under thermo neutral conditions. *J Anim Physiol Anim Nutr.* DOI: 10.1111/jpn.12824.

Morales, A., Ibarra, N., Chávez, M., Gómez, T., Suárez, A., Valle, J.A., Camacho, R.L., Cervantes, M., 2018. *Effect of feed intake level and dietary protein content on the body temperature of pigs housed under thermo neutral conditions.* *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 102, e718–e725.

Morales, A., Pérez, M., Castro, P., Ibarra, N., Bernal, H., Baumgard, L.H., Cervantes, M., 2016b. Heat stress affects the apparent and standardized ileal digestibilities of amino acids in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 94, 3362–3369.

- Noblet J., Shi, X., & Dubois, S., 1993. Energy cost of standing activity in sows. *Livestock Production Science* 34, 127–136.
- Noblet, J., Fortune, H., Shi, X., and Dubois, S., 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:344–354.
<https://www.animalsciencepublications.org/publications/jas/articles/72/2/344>.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-062-ZOO-1999), 2001. In: Ochoa, M.L.I. (Ed.), *Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio*. Diario Oficial de la Federación. México (DF), México.
- NRC, 2012. *Nutrient Requirements of Swine*, 11th revised ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Patience, J.F., Umboh, J.F., Chaplin, R.K., Nyachoti, C.M., Nyachoti., 2005. Nutritional and physiological responses of growing pigs exposed to a diurnal pattern of heat stress. *Livestock Prod. Sci.* 96, 205-214.
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301622605000436>
- Pearce, S. C., Mani, V., Weber, T.E., Rhoads, R.P., Patience, J.F., Baumgard, L.H., and Gabler, N.K., 2013. Heat stress and reduced plane of nutrition decreases intestinal integrity and function in pigs. *J. Anim. Sci.* 91:5183–5193. doi:10.2527/jas.2013-6759
- Pearce, S. C., Sanz-Fernandez, M.V., Hollis, J.H., Baumgard, L.H., and Gabler, N.K., 2014. Short-term exposure to heat stress attenuates appetite and intestinal integrity in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 92:5444–5454. doi:10.2527/jas2014-8407.

- Pearce, S.C., Gabler, N.K., Ross, J.W., Escobar, J., Patience, J.F., Rhoads, R.P., Baumgard, L., 2013a. The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 91:2108–2118
- Quiniou, N., Dubois, S., and Noblet, J., 2000. Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. *Livest. Prod. Sci.* 63:245–253. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301622699001359>.
- Quiniou, N., Noblet, J., Van Milgen, J., and Dubois, S., 2001. Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. *British Journal of Nutrition* 85:97-106.
- Renaudeau, D., Anais, C., Tel, L., and Gourdine, J.L., 2010. Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. *J. Anim. Sci.* 88:3715–3724. doi:10.2527/jas.2009-2169.
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J.L., and Collier, R.J., 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*. 6:707–728. doi:10.1017/s1751731111002448.
- Renaudeau, D., Gourdine, J.L., St-Pierre, N.R., 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-*finishing* pigs. *J. Anim. Sci.* 89, 2220–2230
- Renaudeau, D., Quiniou, N., Dubois, S., Noblet, J., 2002. Effects of high ambient temperature and dietary protein level on feeding behavior of multiparous lactating sows *Anim. Res.*, 51, pp. 227-243

- Rezende, E., Bacigalupe, L.D., 2015. Thermoregulation in endotherms: physiological principles and ecological consequences. *J. Comp. Physiol. B.* 709–727
- Sanz Fernandez, M. V., Pearce, S.C., Gabler, N.K., Patience, J.F., Wilson, M.E., Socha, M.T., Torrison, J.R., Rhoads, R.P., and Baumgard, L.H., 2014. Effects of supplemental zinc amino acid complex on gut integrity in heat-stressed growing pigs. *animal* 8:43–50. http://www.journals.cambridge.org/abstract_S1751731113001961
- Sauer, W.C., Jorgensen, H., Berzins, R., 1983. A modified nylon bag technique for determining apparent digestibilities of protein in feedstuffs for pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 63,233-237.
- Stein, H.H., Kim, S.W., Nielsen, T.T., Easter, R.A., 2001. Standardized ileal protein and amino acid digestibility by growing pigs and sows. *J. Anim. Sci.* 79, 2113–2122
- St-Pierre, N.R., Cobanov, B., and Schnitkey, G., 2003. Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries. *J. Dairy Sci.* 86: E52–E77. doi:10.3168/jds. S0022-0302(03)74040-5.
- Terlouw, C., 2005. Stress reactions at slaughter and meat quality in pigs: genetic background and prior experience: A brief review of recent findings. *Livest. Prod. Sci.* 94: 125-135.
- Van Milgen, J., Bernier, J.F., Lecozler, Y., Dubois, S., and Noblet, J., 1998. Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination. *Br. J. Nutr.* 79:509–17. doi:10.1079/BJN19980089.
- Westerterp, K.R., 2004. Diet induced thermogenesis. *Nutr. Metab. (Lond.)* 1, 5.
- Whitney, H., 2008. Minimizing Heat Stress in Pigs During the Summer. *Extension Bulletin.*

University of Minnesota. <http://www.extension.umn.edu/swine/>

components/pubs/Whitney MinimizingHeatStress.pdf Accesado 30 octubre 2008

Wilfart, A., Montagne, L., Simmins, H., Noblet, J., van Milgen, J., 2007. Digesta transit in different segments of the gastrointestinal tract of pigs as affected by insoluble fibre supplied by wheat bran. *Br. J. Nutr.* 98, 54–62.

Wilson, T. E., and Crandall, C.G., 2011. Effect of thermal stress on cardiac function. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 39:12–7. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21088607>.

Yu, J., Yin, P., Liu, F., Cheng, G., Guo, K., Lu, A., Zhu, X., Luan, W., and Xu, J., 2010. Effect of heat stress on the porcine small intestine: a morphological and gene expression study. *Comp. Biochem. Physiol. A. Mol. Integr. Physiol.* 156:119–128. doi:10.1016/j.cbpa.2010.01.008.

Zumbach, B., Misztal, I., Tsuruta, S., Sanchez, J.P., Azain, M., Herring, W., Holl, J., Long, T., and Culbertson M., 2008. Genetic components of heat stress in finishing pigs: Development of a heat load function. *J. Anim. Sci.* 86:2082–2088. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18469060>.