

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**EFFECTO DEL NIVEL DE CONSUMO Y CONTENIDO DE PROTEÍNA DE LA DIETA EN LA TEMPERATURA CORPORAL DE CERDOS EN CONDICIONES DE TERMO-NEUTRALIDAD.**

**TESIS**

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

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

**PRESENTA:  
JOSÉ ALAN VALLE FIMBRES**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. MIGUEL CERVANTES RAMÍREZ**

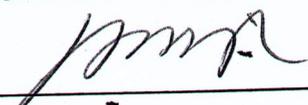
MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

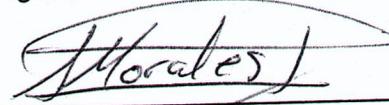
FEBRERO 2019

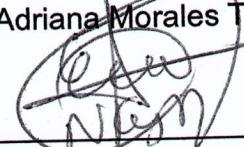
La presente tesis titulada “Efecto del nivel de consumo y contenido de proteína de la dieta en la temperatura corporal de cerdos en condiciones de termo-neutralidad”, fue realizada por el C. José Alan Valle Fimbres, bajo la dirección del Comité Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

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

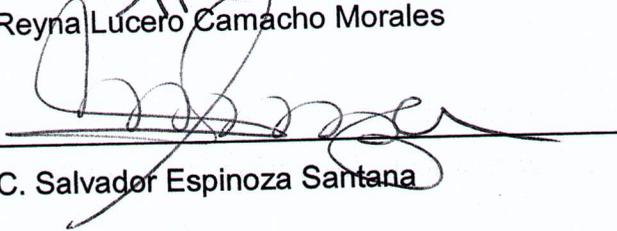
**COMITÉ PARTICULAR**

DIRECTOR   
Dr. Miguel Cervantes Ramírez

SINODAL   
Dra. Adriana Morales Trejo

SINODAL   
Dr. Ernesto Avelar Lozano

SINODAL   
Dra. Reyna Lucero Camacho Morales

SINODAL   
M.C. Salvador Espinoza Santana

**“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE”**

Ejido Nuevo León, Mexicali Baja California, México; febrero de 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma de Baja California, en especial al Instituto de Ciencias Agrícolas por el apoyo otorgado durante mi posgrado.

A los académicos que me brindaron conocimiento y experiencias.

Al personal administrativo que me brindó su apoyo, en especial a Sandrita por su trato siempre tan amable.

A mi director de tesis Dr. Miguel Cervantes Ramírez por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, su tiempo, disposición y asesoría durante mis estudios y la redacción de este documento.

A la Dra. Adriana Morales Trejo, por su disposición, su tiempo y sugerencias durante mi trabajo de laboratorio, así como para la redacción del presente documento.

Al Dr. Ernesto Avelar Lozano, por su apoyo, amistad y sus sugerencias en la revisión de este documento.

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

Al M.C. Salvador Espinoza, por facilitarnos las unidades experimentales, su asesoría brindada durante los experimentos y sus sugerencias durante la redacción del presente documento.

A los compañeros del CANA y de la UANL por su apoyo y amistad.

Gracias a todos.

## DEDICATORIA

A mis padres Ramón y Eva:

Por apoyarme a seguir adelante y estar siempre presentes en los momentos más importantes, además, de ser la fuente de inspiración y motivación para superarme cada día.

A mis hermanos Abraham, Czarina y Linda:

Por su compañía y apoyo incondicional en cada decisión que tomo.

A Jacqueline:

Por su gran amor y paciencia

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. ANTECEDENTES .....	14
2.1 Estrés por calor .....	14
2.2 Temperatura corporal.....	15
2.2 Termorregulación .....	18
2.3 ZONA TERMONEUTRAL.....	22
2.4 Efecto térmico del alimento .....	23
2.5 Proteína dietética y temperatura corporal.....	25
III. JUSTIFICACIÓN.....	26
IV. HIPÓTESIS .....	26
V. OBJETIVOS .....	26
VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
6.1 Animales y procedimiento experimental .....	27
6.2 Locación .....	28
6.3 Dietas experimentales.....	28
6.4 Análisis estadístico .....	30

VII. RESULTADOS.....	32
7.1 Efecto del nivel de consumo sobre la temperatura intestinal .....	32
7.2 Efecto del nivel de proteína en la dieta sobre la temperatura intestinal.....	40
VIII. DISCUSIÓN.....	43
IX. CONCLUSIÓN .....	50
X. REFERENCIAS .....	51

## ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadro 1.** Composición de las dietas experimentales.

**Cuadro 2.** Temperatura intestinal de cerdos alimentados con 600 o 900 g, registrada a intervalos de 5 minutos antes (basal) y después (Postprandial) de la comida de la mañana.

**Cuadro 3.** Temperatura intestinal de cerdos alimentados con 600 o 900 g, registrada a intervalos de 5 minutos antes (basal) y después (Postprandial) de la comida de la tarde.

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Componentes del gasto energético en adultos sedentarios.

**Figura 2.** Temperatura ambiente registrada a intervalos de 5 min. dentro de la habitación.

**Figura 3.** Variaciones en la temperatura intestinal de cerdos durante un período de 24 horas con dos niveles diferentes de alimentación.

**Figura 4.** Cambios en la TI postprandial, en comparación con la TI preprandial (basal), después de la comida de la mañana.

**Figura 5.** Cambios en la TI postprandial, en comparación con la TI preprandial (basal), después de la comida de la tarde.

**Figura 6.** Variaciones en la temperatura intestinal durante un período de 24 horas en cerdos alimentados con una dieta baja (11%) y alta (22%) en proteína.

**Figura 7.** Cambios postprandiales en la temperatura intestinal, en comparación con la TI preprandial (basal), después de la comida de la mañana, en cerdos alimentados con una dieta baja (11%) y alta (22%) en proteína.

**Figura 8.** Cambios postprandiales en la temperatura intestinal, en comparación con la TI preprandial (basal), después de la alimentación vespertina, en cerdos alimentados con una dieta baja (11%) y alta (22%) en proteína.

## RESUMEN

La ingesta de alimento y la composición de la dieta parecen afectar la temperatura corporal de los cerdos. Se realizaron dos ensayos para analizar el efecto del nivel de ingesta de alimento y el contenido de proteína de la dieta sobre la temperatura intestinal (TI) de los cerdos alojados en condiciones termoneutrales (TN). Se utilizaron diez cerdos ( $64.1 \pm 1.3$  kg de peso corporal inicial) canulados en íleon terminal. Se introdujeron termógrafos en el íleon a través de la cánula, configurados para registrar la TI en intervalos de 5 minutos. En ambos ensayos, la temperatura ambiente (TA) varió de 19,1 a 21,6 ° C y los cerdos se alimentaron a las 0700 y 1900 h (la misma cantidad cada vez). En el ensayo 1, los cerdos fueron alimentados diariamente con 1,2 o 1,8 kg de una dieta a base de trigo y pasta de soya. La TI siguió un patrón similar a lo largo de un período de 24 horas, independientemente del nivel de consumo de alimento. La TI aumentó rápidamente hasta 0,61 y 0,74°C después de la comida de la mañana y hasta 0,53 y 0,47°C después de la cena en cerdos alimentados con 1,2 y 1,8 kg/d, respectivamente. La TI postprandial fue mayor en los cerdos que se alimentaron con 900 g/comida ( $P < 0.05$ ). En el ensayo 2, los cerdos se alimentaron diariamente con 1,8 kg de una dieta baja (11%) o alta (22%) en proteínas. La TI mostró un patrón similar a lo largo del período de 24 h, independientemente del nivel de proteína en la dieta. La TI postprandial no difirió entre los cerdos alimentados con dieta baja o alta en proteína ( $P > 0,10$ ). La TI aumentó rápidamente hasta 0,66 y 0,62°C después de la comida de la mañana en cerdos alimentados con la dieta alta y baja en proteínas ( $P < 0,05$ ) respectivamente, pero no hubo cambios después de la cena ( $P > 0,10$ ). En conclusión, el nivel de ingesta

de alimento afectó la TI de los cerdos alojados en condiciones TN, sin embargo, el contenido de proteína en la dieta no tuvo ningún efecto.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción mundial de carne de cerdo en el 2017 creció a una tasa promedio anual de 1.6 kg per cápita a un nivel récord de 19.0 kilogramos, esto representa un crecimiento de 2.4% con respecto a 2016 (FIRA, 2017).

Sin embargo, más del 50% de la producción mundial de carne, incluida la producción porcina, y más del 60% de la producción de leche provienen de zonas tropicales y sub tropicales (FAO, 2010). Debido a que el factor climático es uno de los principales factores que limitan la producción eficiente en estas regiones, la principal preocupación es la temperatura ambiente elevada, donde el estrés por calor (EC) es un problema ocasional durante los meses de verano y / o durante los periodos de calor (Renaudeau *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2010).

La producción porcina en México se lleva a cabo en mayor medida en los estados de Jalisco y Sonora (FIRA, 2017), zonas que presentan temperaturas medias máximas la mayor parte del año, superiores a la zona TN del cerdo (18-26°C; Michael R. Muirhead, 1997) provocando en el cerdo EC.

El EC es el resultado de un balance negativo entre la cantidad neta de energía que fluye del animal a su entorno y la cantidad de energía térmica producida por el animal (St-Pierre, Cobanov, & Schnitkey, 2003). Combatir los efectos del EC es metabólicamente costoso para la producción animal (Cottrell *et al.*, 2015), ya que para adaptarse a estas condiciones, los animales incrementan su frecuencia respiratoria (Manno *et al.*, 2006) y reducen su consumo voluntario de alimento

(CVA) en poco más de 40% comparados con cerdos en condiciones TN (Morales *et al.*, 2014; Pearce 2014), ésta marcada reducción en el consumo de alimento es posiblemente una estrategia que utiliza el cerdo para minimizar la producción de calor metabólico (Renaudeau *et al.*, 2013). Otra respuesta fisiológica del cerdo al EC es el aumento del flujo sanguíneo hacia la periferia (Collin *et al.*, 2001), esto con el fin de disipar la carga de calor por convección, conducción y radiación hacia el ambiente (Hillman *et al.*, 1985), sin embargo como consecuencia, se reduce el flujo de sangre hacia órganos internos, mostrándose afectado el intestino delgado. Gran cantidad de autores han reportado en sus trabajos de investigación, que el estrés por calor provoca un marcado daño en las vellosidades intestinales, reduciendo su altura y mostrando una reducción en la profundidad de las criptas en yeyuno (Pearce *et al.*, 2013;2014; Yu *et al.*, 2010), lo que conlleva a una menor absorción de nutrientes y por lo tanto una reducción en la producción, como consecuencia es necesario un mayor tiempo para alcanzar el peso deseado a sacrificio (Witte *et al.*, 2014).

Este estudio se realizó para analizar el efecto del nivel de consumo y contenido de proteína de la dieta sobre la TI durante la fase post-absortiva de cerdos alojados en condiciones termoneutrales.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Estrés por calor

A menudo se usa el término “estrés” para describir un rango amplio de condiciones que amenazan el bienestar de un organismo. El EC es definido como una serie de alteraciones en la fisiología, metabolismo y comportamiento de animales expuestos a una alta temperatura ambiente (Horowitz & Robinson, 2007). Combatir los efectos del EC es metabólicamente costoso para la producción animal (Cottrell *et al.*, 2015) debido a que para adaptarse a estas condiciones, los animales incrementan su frecuencia respiratoria (Manno *et al.*, 2006) y reducen su CVA alrededor del 40% comparados con cerdos en condiciones TN (A. Morales *et al.*, 2014; Pearce *et al.*, 2013; S. C. Pearce *et al.*, 2014). El CVA de los cerdos y la ingesta diaria de energía asociada desempeñan un papel crucial en la producción de cerdo debido a su efecto negativo sobre los niveles de ingesta de nutrientes y por lo tanto una reducción en la ganancia de peso, comparados con animales en termoneutralidad (S. Pearce *et al.*, 2013).

Otros factores, además del medio ambiente, como: manejo, salud, genética y nutrición, se han considerado como factores limitantes para un máximo desempeño animal. Entre los animales domésticos el cerdo es más sensible a las altas temperaturas. Se sabe que ésta sensibilidad se debe a una combinación de factores, entre los cuales están un pobre sistema termorregulador, presencia de una capa de grasa subcutánea y un metabolismo intenso. Es ahí donde se ve comprometida la máxima eficacia de la producción por las condiciones de altas temperaturas, especialmente en animales pesados (Wolp, 2012).

En las comercializaciones, donde se practica la alimentación *ad libitum*, la energía dietética y la concentración de nutrientes, pero no la ingesta diaria de alimento, están bajo control del productor. Una comprensión completa de cómo los factores dietéticos y no dietéticos afectan el CVA de los cerdos es crítico para lograr la precisión en la alimentación sin desperdiciar alimentos o comprometer la tasa de crecimiento. La ingesta de alimento de cerdos de crecimiento-finalización es influenciada por una amplia gama de factores, incluyendo condiciones ambientales, estado de salud, genotipos y composición de la dieta. (Li, 2016). (Huynh *et al.*, 2005) estiman en su estudio que por cada grado Celsius de aumento en la temperatura ambiente, el CVA disminuye constantemente en un promedio de 95.5 g. en cerdos en crecimiento (45 a 85 kg). Se cree además, que esta respuesta del animal se debe a la necesidad de reducir el incremento de calor asociado con la alimentación (Quiniou, Noblet, van Milgen, & Dubois, 2001).

## 2.2 Temperatura corporal

Los animales endotermos utilizan el calor metabólico para regular su temperatura corporal y mantenerla constante, y es independiente de la TA (McNab, 2002), por ello la producción de calor está conectado a la actividad muscular y alimentación donde la producción de calor cambia notablemente, especialmente para cerdos pesados debido a que se requiere más energía para mover un cuerpo más grande que uno más pequeño (Bray, Whipp, Koyal, & Wasserman, 1977; Passmore, 1956). Existen tres componentes principales del balance de energía (Fig. 1): tasa metabólica basal (TMB), el efecto térmico del

alimento (ETA) y la termogénesis provocada por la actividad física (Levine, 2004). La tasa metabólica basal es la energía que se gasta cuando un individuo está en reposo completo, por la mañana, después del sueño, en estado post-absortivo (Levine, 2004).

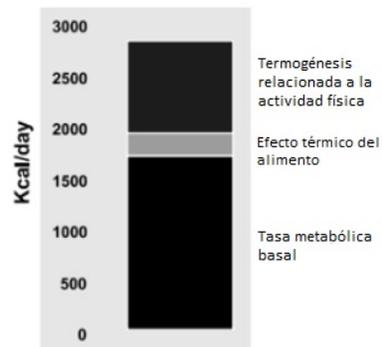


Figura 1. Componentes del gasto energético en adultos sedentarios. Adaptado de Levine., 2004.

La TMB es la cantidad mínima de producción de calor para mantener la vida (Kingma, Frijns, Schellen, & van Marken Lichtenbelt, 2014) y ya no cambia en función de la TA. Por otra parte, el efecto térmico de la alimentación es el aumento en el gasto de energía asociado con la digestión, la absorción y el almacenamiento de los nutrientes del alimento y representa el 10-15% del gasto total de energía diaria (D'Alessio *et al.*, 1988; Kinabo & Durnin, 1990). La termogénesis relacionada a la actividad física se puede separar en dos componentes, la termogénesis de la actividad relacionada con el ejercicio y la termogénesis de la actividad sin ejercicio (Levine, 2004), que van desde el 15% del gasto total de energía diaria en individuos sedentarios hasta el 50% o más del gasto total de energía diaria en individuos altamente activos (Dauncey, 1990; Ravussin *et al.*, 1986). El proceso de alimentación conlleva también un gasto de energía en forma de producción de calor, por ejemplo, la masticación se asocia con desviaciones en el gasto energético hasta del 20% por encima del reposo.

Los cerdos muestran variaciones diurnas en las actividades conductuales y son más activos, como se observan al pasar más tiempo comiendo, bebiendo, de pie, caminando y realizando otras conductas activas durante el día (Hill, Heymsfield, McMannus, & DiGirolamo, 1984; Rudine, Sutherland, Hulbert, Morrow, & McGlone, 2007), lo que se verá reflejado en la producción de calor debido a la actividad física.

Cuando los animales son expuestos a un ambiente frío, defenderán agudamente la temperatura de su cuerpo mediante la termogénesis temblorosa (contracciones musculares), que aumenta la producción de calor (gasto de

energía). Esta adaptación metabólica a lo largo del tiempo se denomina termogénesis adaptativa (van der Lans *et al.*, 2013) y puede considerarse como aquellos cambios en el estado normal del gasto energético diario, principalmente a través de alteraciones de la tasa metabólica basal y el efecto térmico de la alimentación, como resultado de estrés ambiental y fisiológico. Las alteraciones en la producción de calor sin cambios aparentes en el trabajo físico pueden caracterizar el efecto de la termogénesis adaptativa. (Poehlman & Horton, 1989)

La interacción entre la actividad física y otros factores, como la nutrición, la temperatura ambiental y la composición corporal, también puede ser importante para determinar la contribución de la actividad al equilibrio energético. El efecto más notorio sobre el gasto de energía es a través del efecto térmico relacionado a la actividad física. (Van Zant, 1992)

## 2.2 Termorregulación

Los organismos endotermos u homeotermos como las aves y los mamíferos, tienen la capacidad de mantener una temperatura corporal relativamente constante dentro de un rango considerablemente estrecho, gracias a un sistema bien integrado, que les permite vivir en zonas bajo diferentes condiciones de temperatura ambiente (Buckley, Hurlbert, & Jetz, 2012; Lifshitz, 2007). Éstos animales, incluido el cerdo, pueden hacer frente a las variaciones de temperatura ambiente mediante la adaptación fisiológica, modificando su comportamiento y metabolismo para mantener la homeostasis térmica (Mccracken & Gray, 1980).

La homeostasis térmica es necesaria en organismos homeotermos debido a que muchos de los eventos fisiológicos dependen de la temperatura corporal, como la actividad enzimática, efectora de muchas funciones del organismo, y que se desarrolla mejor a una cierta temperatura (temperatura óptima), por encima y por debajo de la cual las reacciones bioquímicas son menos eficientes. Por debajo de la temperatura óptima, la cinética molecular no es suficiente para propiciar un número suficiente de interacciones entre enzima y sustrato; con temperaturas superiores a la óptima, las enzimas, que son al fin y al cabo proteínas, comienzan a desnaturalizarse por efecto del calor. Es por esto que los organismos invierten energía en mantener la temperatura dentro de límites muy estrechos (Lifshitz, 2007). El sistema termorregulador de los organismos homeotermos está ajustado para defender cierta temperatura (alrededor de 37°C) a pesar de que existan variaciones considerables en la temperatura ambiente (Lifshitz, 2007).

A bajas temperaturas, los organismos homeotermos producen calor para mantener una temperatura corporal alta y constante, lo que resulta en una relación negativa entre el metabolismo y TA (Vallerand & Jacobs, 1992). La alta tasa metabólica en organismos endotermos permite una rápida regeneración de los suministros de energía y por lo tanto una mayor resistencia a las bajas temperaturas (Wieser, 1985), caso contrario, la hipertermia o EC en mamíferos se presenta cuando el animal muestra una alteración en la temperatura corporal o se supera la termorregulación normal (Lifshitz, 2007), como muestran en su estudio (Pearce *et al.*, 2013) un aumento de hasta 1.5°C la temperatura rectal de cerdos en crecimiento y (A. Morales, Cota, *et al.*, 2016) observaron un incremento en la

TC de 1.2°C en promedio, comparando animales en condiciones de estrés por calor vs en confort. Esta capacidad termorreguladora de los animales se lleva a cabo por la vasoconstricción y/o vasodilatación, en donde el cuerpo cambia gradualmente de un aislante a un conductor y, en consecuencia, para cada temperatura ambiente hay un rango más amplio de temperaturas de la piel que permiten la homeostasis térmica del animal (Kingma et al., 2014).

Los animales producen calor debido a los diferentes procesos metabólicos involucrados en sus funciones de mantenimiento y crecimiento. La producción de calor en animales en crecimiento se puede dividir en la producción de calor total debido al mantenimiento y un componente debido al crecimiento. También se deben tener en cuenta las diferencias en el gasto de energía debido a los diferentes niveles de actividad física entre los animales (Rezende & Bacigalupe, 2015).

La respuesta fisiológica detrás de la termorregulación en animales endotermos se ha estudiado durante más de un siglo, donde la mayoría de las investigaciones se han centrado en responder cómo las diferentes variables, por ejemplo, como el tamaño corporal, TA, cantidad y composición de la dieta, afectan la capacidad termorreguladora, así como la capacidad termogénica de los animales (Rezende & Bacigalupe, 2015). El gasto total de energía, o producción de calor, puede describirse como la suma de cinco componentes: gasto de energía en reposo, gasto de energía inducido por actividad física, efecto térmico del alimento, termogénesis facultativa y anabolismo / crecimiento (Paddon-Jones, Westman, Mattes, Wolfe, & Astrup, 2008; Pullicino, Goldberg, & Elia, 1991). Considerando que el gasto de energía asociado con la física la actividad ofrece la

mayor variabilidad y puede aumentar varias veces por encima de los niveles de reposo, el gasto de energía en reposo generalmente es el componente más grande del gasto total de energía, de un 65 hasta un 75% (Wang, Heshka, Zhang, Boozer, & Heymsfield, 2001). Para la mayoría de los mamíferos y aves, la tasa más elevada de producción de calor se alcanza durante la actividad física (Heinrich, 1977), como lo sugieren mediciones de la capacidad aeróbica máxima medida durante el ejercicio extenuante (Glazier, 2008) y algunas estimaciones de la eficacia muscular que muestran que ~ 70% de la energía consumida por los músculos durante la contracción se pierde en forma de calor (Lichtwark & Wilson, 2007). Es importante considerar que las ráfagas de actividad implican tasas de rotación de alta energía o producción de calor, durante breves períodos de tiempo (Rezende & Bacigalupe, 2015).

La producción y la pérdida de calor son necesarias para mantener una TC constante. Tanto la actividad como la reproducción requieren energía e inevitablemente producen calor como subproducto. Por lo tanto, se espera una compensación entre estos procesos y la termorregulación debido a la asignación de energía cuando el animal se encuentra en condiciones de frío y la disipación de calor cuando está en condición ambiental caliente (Hall, Stanford, & Hauer, 1992). A una temperatura ambiente superior a la óptima, la producción de calor durante la actividad y / o reproducción puede exceder las tasas máximas de disipación de calor y, por lo tanto, el organismo puede enfrentar la muerte por hipertermia no regulada. Esto está de acuerdo con estudios que muestran que la actividad sostenida a temperaturas de moderadas a altas, casi irrevocablemente resulta en hipertermia. (Biesel & Nachtigall, 1987; Heinrich, 1977; Torre-Bueno, 1976).

El impacto de la actividad física sobre la temperatura corporal elevada se reconoce desde hace mucho tiempo y, como es lógico, muchas aves terrestres y mamíferos muestran patrones bimodales de actividad para evitar las altas temperaturas del mediodía y minimizar el riesgo de hipertermia. (Bacigalupe, Rezende, Kenagy, & Bozinovic, 2003). Cuando la combinación de metabolismo y la carga de calor ambiental sobrepasa este límite, se espera que los animales se sobrecalienten o intenten mantener una temperatura corporal constante a expensas del balance de agua como respuestas fisiológicas, siendo el más importante el enfriamiento por evaporación (Rezende, 2015).

### 2.3 ZONA TERMONEUTRAL

Un cuerpo solo puede mantener una temperatura corporal constante cuando la producción de calor y la pérdida de calor están equilibradas. Eso significa que el transporte de calor del interior del cuerpo a la piel debe ser igual a la transferencia de calor de la piel al medio ambiente (Kingma *et al.*, 2014). Se define como zona de confort o zona termoneutral (TN) al rango de TA a la que se logra la regulación de la temperatura corporal, sin que exista una regulación o cambio en la producción de calor metabólico o pérdida de calor por evaporación (Kingma *et al.*, 2014). La zona TN de los cerdos se puede definir como el rango de temperatura ambiental dentro del cual la tasa metabólica es mínima y constante (Verstegen & Leuven, 1986). Se ha encontrado que un rango de temperatura ambiental de 18 a 21 ° C generalmente respalda el rendimiento productivo óptimo de los cerdos en crecimiento y finalización (Lucas, Randall, & Meneses, 2000) y

similar para Quiniou *et al.*, 2001, donde asumen que el rango de 19-22 ° C estaba cerca de la zona de termoneutralidad.

En condiciones TN, el animal utiliza la energía de la dieta para cumplir con sus requerimientos para mantenimiento, actividad física y crecimiento. En cerdos expuestos a TA por debajo de la zona de termoneutralidad, la producción de calor aumenta para cumplir con los requisitos adicionales de termorregulación. Si la TC se encuentra por encima del punto en el cual puede mantenerse el equilibrio entre la producción y la pérdida de calor, la pérdida de calor por evaporación es máxima y la evaporación respiratoria será inadecuada para una pérdida de calor suficiente para mantener constante la TC. Bajo tales condiciones, los animales se encuentran por encima de la zona termoneutral, por lo tanto, la disminución en el efecto térmico asociado de la alimentación es un mecanismo eficiente para disminuir la carga de calor (Aarnink, Van Den Berg, Keen, Hoeksma, & Verstegen, 1996).

#### 2.4 Efecto térmico del alimento

El efecto térmico de la alimentación (ETA) es la energía que se libera en exceso, siendo utilizada para la digestión, absorción, transporte, metabolismo y almacenamiento de nutrientes y representa aproximadamente el 10% del gasto energético diario (Schulz, 1983). El ETA está formado por dos componentes, el costo energético del procesamiento y almacenamiento de glucosa como glucógeno en músculo e hígado (Acheson, 1994; Poehlman & Horton, 1989), y un efecto adicional debido a la estimulación mediada por insulina del sistema

nervioso simpático (Acheson, 1994). El ETA consta de dos componentes denominados termogénesis obligatoria y termogénesis facultativa. La primera es la energía necesaria para absorber y procesar metabólicamente los alimentos ingeridos (Hayashi, Ito, Ichikawa, & Suzuki, 2014; Horton, 1983), representando del 50-75% del efecto térmico total de la alimentación. En respuesta, el gasto de energía incrementado restante se considera el segundo componente, termogénesis facultativa y puede tener su origen en el aumento de la actividad del sistema nervioso simpático y el ciclo metabólico resultante de la ingestión de alimentos. (Young, 1983). Se estima que la magnitud del ETA varía del 5% al 10% de la energía total ingerida (Rosenbaum & Leibel, 2010; Schutz, Bessard, & Jequier, 1984). Por lo tanto ingerir y asimilar nutrientes invariablemente provoca que un animal gaste energía adicional por encima de la tasa de reposo (Humphries & Careau, 2011) además se sugiere que la cantidad y la composición de la dieta pueden influir en el gasto energético general (Van Zant, 1992), así como la frecuencia de las comidas ha sido implicada en la regulación del balance de energía tanto en humanos como en animales (Catherine E. Adams, 1981). El ETA aumenta a medida que aumenta el tamaño de la comida, lo que sugiere que la ingesta de alimentos que exceden los requerimientos de energía altera el gasto de energía (Hill *et al.*, 1984) . El aumento de ETA con el tamaño de la comida no es lineal, lo que indica que las diferencias en la frecuencia de las comidas también podrían afectar el gasto de energía (Hill *et al.*, 1984). Varios hallazgos sugieren que el ETA es más alto para las proteínas que otros macronutrientes. Por lo que se ha especulado que las diferentes fuentes de proteínas pueden afectar el ETA de forma diferente (Paddon-Jones *et al.*, 2008). Otros dos factores que afectan la

temperatura corporal son la termogénesis postprandial y el ejercicio (Fujii et al., 2012; Roberts *et al.*, 1977).

## 2.5 Proteína dietética y temperatura corporal

Los carbohidratos y proteínas son parte integral de la función metabólica diaria y, dado que el cuerpo tiene una capacidad limitada para almacenar estos nutrientes, las tasas de oxidación de carbohidratos y proteínas tienden a variar con su ingesta de la dieta. Además el equilibrio de nitrógeno se mantiene con la ingesta adecuada de proteínas (Flatt, Ravussin, Acheson, & Jequier, 1985).

Se ha demostrado que el consumo excesivo de proteína cruda (PC) aumenta el gasto de energía, aumenta el metabolismo energético y afecta el tamaño de los órganos como el riñón (Nyachoti, De Lange, McBride, Leeson, & Schulze, 2000). Kerr, Southern, Bidner, Friesen, & Easter, 2003 informaron que los cerdos alimentados con un 12% de PC en la dieta, suplementada con AA tuvieron una menor producción de calor que los cerdos alimentados con una dieta con un 16% de PC. Los animales mostraron también una reducción de urea plasmática en cerdos alimentados con la dieta baja en PC suplementada con AA (López *et al.*, 1994; Kerr y Easter, 1995) esto indica un menor incremento de calor en dietas bajas en PC. El incremento de calor (IC) es la cantidad de calor liberado debido a los costos de energía de los procesos digestivo y metabólico. La producción de calor incluye la energía requerida para el mantenimiento (incluida la digestión) y la energía gastada en respuesta a los cambios en el medio ambiente (NRC, 1998). El IC se relaciona a que el cuerpo no tiene la capacidad de hacer frente al

aumento de la ingesta de proteínas y, por lo tanto, tiene que oxidar activamente o eliminar el exceso de aminoácidos, lo que posteriormente aumenta la termogénesis. (Giordano & Castellino, 1997; Mikkelsen PB Astrup A., 2000). Se ha demostrado que el consumo excesivo de PC aumenta el gasto de energía (Buttery P. J. and Boorman K., 1976).

### III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los datos disponibles respecto a la magnitud del cambio en la TC en los cerdos debido al ETA a corto plazo, a diferentes niveles de ingesta de alimento y al contenido de proteína dietética son escasos o en su defecto son nulos.

### IV. HIPÓTESIS

El nivel de ingesta de alimento, así como el contenido de proteína dietética afectan la producción de calor corporal de cerdos bajo condiciones termo neutrales.

### V. OBJETIVOS

- Analizar el efecto del nivel de ingesta dietética en la temperatura intestinal (TI) de cerdos en crecimiento alojados en condiciones termo neutrales.
- Analizar el efecto del contenido de proteína dietética en la temperatura intestinal de cerdos en crecimiento alojados en condiciones TN.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Animales y procedimiento experimental

Los cerdos utilizados en el presente estudio se manejaron de acuerdo a los lineamientos establecidos en la Norma Oficial Mexicana para el cuidado de animales (Ochoa, 1999). El estudio se realizó en el laboratorio de fisiología y metabolismo animal del Instituto de Ciencias Agrícolas de la UABC, ubicada en el ejido Nuevo León, en el valle de Mexicali. Se realizaron dos ensayos utilizando cerdos híbridos (Landrace x Hampshire x Duroc) con un peso vivo inicial de  $64.1 \pm 1.3$  kg, asignando 5 animales a cada tratamiento.

A todos los animales les fue implantado un termógrafo (Thermotracker BT; iButtonLink LLC, Whitewater, WI, USA) en el lumen intestinal del íleon terminal, el dispositivo fue configurado para registrar datos de temperatura intestinal en intervalos de 5 min. Los termógrafos se introdujeron en intestino mediante cánulas colocadas por cirugía, realizadas de acuerdo al procedimiento establecido por Sauer, Jørgensen, and Berzins ., 1983. El motivo de utilizar estos termógrafos es que permiten la recopilación de datos de temperatura intestinal, evitando causar perturbaciones a los cerdos que podrían tener un impacto en la temperatura intestinal. Éstos animales fueron utilizados en pruebas de digestibilidad previo a este estudio, por lo que se asegura una recuperación completa de la cirugía, además, se mantuvieron en reposo durante 2 semanas previas al inicio de los ensayos que aquí se presentan.

## 6.2 Locación

Los cerdos se alojaron individualmente en corraletas de 1,2 x 1,2 m, con piso de malla de hierro elevado, equipados con un alimentador automático de acero inoxidable y un bebedero de chupón, asegurando agua fresca *ad libitum*, dentro de una habitación con temperatura controlada mediante termostato ajustado a  $20 \pm 2$  ° C (condiciones TN); además las luces permanecieron encendidas todo el tiempo. La temperatura ambiente y humedad relativa dentro de la sala se registraron durante todo el estudio a intervalos de 15 minutos utilizando un higrotermógrafo (Thermotracker HIGRO; iButtonLink LLC, Whitewater, WI, EE. UU).

## 6.3 Dietas experimentales

El ensayo 1 se efectuó para evaluar el efecto de dos niveles de ingesta de alimento sobre la temperatura intestinal de los cerdos: T1) 1.2 kg/día; y T2) 1.8 kg/día. En el ensayo 2 se evaluó el efecto de dos niveles de proteína cruda en la dieta (11% y 22%), con un mismo nivel de consumo de alimento (1.8 kg/día), en la temperatura intestinal de los cerdos. En ambos ensayos, las dietas se elaboraron con trigo y pasta de soya suplementados con vitaminas y minerales para cumplir los requerimientos establecidos por el NRC (2012).

En el ensayo 1 se añadieron también los aminoácidos L-Lis, L-Tre y DL- Met cristalinos o en forma libre a la dieta con 16% de proteína cruda (Cuadro 1). Los ingredientes presentes en la dieta se analizaron para el contenido de AA (método 982.30;AOAC., 2006). El contenido de AA en las dietas se calculó utilizando el

**Cuadro 1.** Composición de las dietas experimentales (como se ofrece).

contenido

de AA

analizado y los coeficientes de digestibilidad ileal estandarizada para trigo y pasta de soya informados por (Stein et al., 2001).

Ingrediente, %	Ensayo 2		
	Ensayo 1	Baja proteína	Alta proteína
Trigo	82.75	97.00	66.70
Pasta de soya, 48%	13.80		30.30
L-Lys. HCl	0.50		
L-Thr	0.15		
DL-Met	0.07		
Carbonato de calcio	1.28	1.25	1.25
Ortofosfato	0.70	1.00	1.00
Sal yodada	0.35	0.35	0.35
Vitaminas y minerales premix <sup>a</sup>	0.40	0.40	0.40
Composición calculada <sup>b</sup>			
Proteína cruda	16.00	11.00	22.00
DIE lisina	0.98	0.31	1.03
DIE metionina	0.28	0.19	0.29
DIE treonina	0.61	0.32	0.71

<sup>a</sup> Suplementación por Kg de dieta: Vitamina A, 4,800 UI; vitamina D3, 800 UI; vitamina E, 4.8 UI; vitamina K3, 1.6mg; riboflavina, 4mg; ácido D-pantoténico, 7.2 mg; niacina, 16 mg; vitamina B12, 12.8 µg; Zn, 64mg; Fe, 64 mg; Cu, 4 mg; Mn, 4mg; I, 0.36 mg; Se, 0.13 mg.

<sup>b</sup> El contenido de AA analizado y sus coeficientes de DIE en trigo y pasta de soya reportados por Stein et al. (2001) se usaron para calcular el contenido DIE de AA.

En cada prueba, los cerdos fueron alimentados dos veces al día a las 07:00 y 19:00 h, la misma cantidad de alimento cada vez. Los cerdos fueron entrenados para consumir sus comidas diarias en 30 minutos o menos. El agua estuvo disponible para todos los cerdos durante todo el estudio.

Cada prueba duró 9 días, 7 días fueron para la adaptación a las dietas y 2 días para la recopilación de datos de temperatura. El termógrafo intestinal se extrajo al día siguiente de finalizar cada prueba y se recuperaron los datos de TI. Para los cálculos y análisis estadísticos, se consideraron solo los datos registrados en los días 8 y 9 de cada ensayo. Se calculó una temperatura intestinal basal considerada como el promedio de las 12 medidas registradas una hora antes de cada hora de alimentación, de 06:00 a 06:55 h para la comida de la mañana, y de 18:00 a 18:55 h para la cena. La magnitud del cambio en la TI durante las primeras 5 horas postprandiales se calculó restando la TI basal de cada TI postprandial individual registrada en cada punto de tiempo específico.

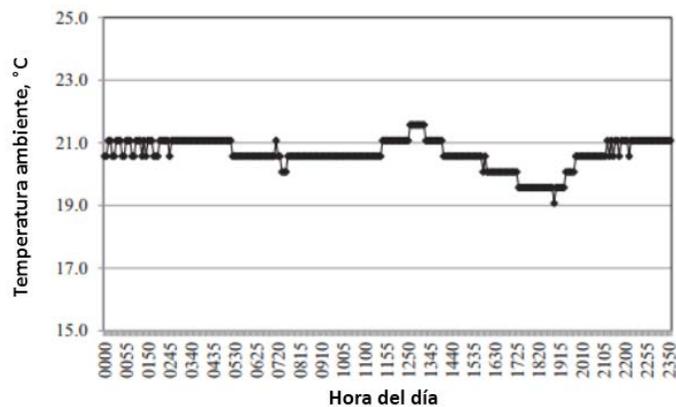
#### 6.4 Análisis estadístico

Los datos de TI de cada ensayo se analizaron como un diseño completamente aleatorizado. El tratamiento dietético y el momento en que se midió BT se consideraron efectos fijos. Los efectos del nivel de consumo de alimento en el ensayo 1 y el contenido de proteína dietética en el ensayo 2, sobre la TI en cada momento, se compararon mediante el método DMS.

El cambio en la TI calculado durante las primeras 5 horas postprandiales se analizó de la misma manera; la importancia de la magnitud del cambio de TI en cada punto de tiempo en comparación con la TI basal se probó usando la prueba de Dunnett (Bretz, Hothorn, & Westfall, 2011). Los niveles de probabilidad de  $p < .05$  y  $.05 \leq p < .10$  se definieron como significativos y tendencias respectivamente

## VII. RESULTADOS

Los cerdos se mantuvieron alojados en condiciones de temperatura constante durante ambos períodos experimentales. La temperatura ambiente de la sala mostró una variación de 19.1 a 21.6 °C, con un promedio de 20.8 °C (Figura 2). Por lo que se demuestra que los animales se encontraron en condiciones termoneutrales durante el período experimental.

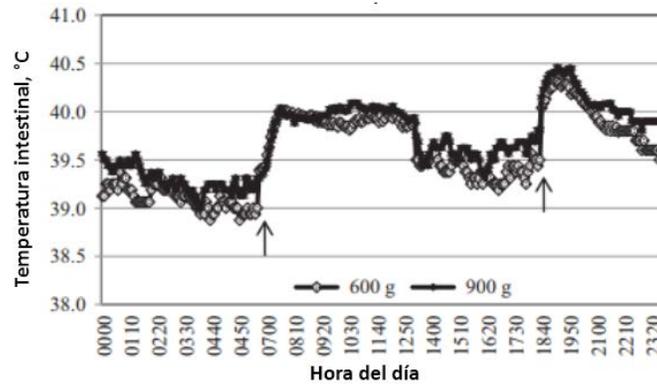


**Figura 2.** Temperatura ambiente registrada a intervalos de 5 min. dentro de la habitación (n = 576).

### 7.1 Efecto del nivel de consumo sobre la temperatura intestinal

El promedio de la TI durante un período de 24 horas se presenta en la Figura 3. Se observó un patrón similar a lo largo del período de 24 horas independientemente del nivel de ingesta. Se observa un rápido aumento en la TI inmediatamente después de que los cerdos recibieron sus comidas (marcadas con flechas). El incremento de la TI observado después de la comida de la mañana se

mantuvo bastante constante durante aproximadamente 5,5 horas, y luego tuvo una ligera disminución hasta que los cerdos recibieron la cena, mostrando un aumento en la TI.



**Figura 3.** Variaciones en la temperatura intestinal de cerdos durante un período de 24 horas con dos niveles diferentes de alimento.

La TI máxima observada después de la cena solo duró aproximadamente 1,5 horas y luego fue disminuyendo continuamente hasta alcanzar el valor más bajo a las 06:55 h del día siguiente. No hubo interacción entre el nivel de ingesta y el tiempo de medición ( $p = 0,99$ ). En general, la TI después de las comidas de la mañana y de la tarde siguió un patrón bien definido de tres etapas.

La TI de cerdos alimentados con 600 o 900 g de alimento por comida, antes (TI basal) y después (TI postprandial) de la comida de la mañana (07:00 h) y hasta las 12:40 h (5 h y 40 min después de la comida), se presenta en el cuadro 2. La TI basal no fue diferente ( $p > .10$ ) entre ambos niveles de alimentación con 600 g (39.39 ° C) o 900 g (39.35 ° C). Del mismo modo, no hubo ningún efecto ( $p > .10$ ) del nivel de consumo de alimento durante las primeras 2 h y 55 min postprandial

(de 07:00 a 09:55 h). Sin embargo, desde las 10:00 hasta las 10:45 h, la TI tendió ( $p < .10$ ) o fue mayor ( $p < .05$ ) en cerdos alimentados con 900 g/comida; luego, la TI no difirió entre los cerdos alimentados con 600 o 900 g/comida ( $p > .10$ ).

**Cuadro 2.** Temperatura intestinal de cerdos alimentados con 600 o 900 g, registrada a intervalos de 5 minutos antes (basal) y después (Postprandial) de la comida de la mañana.

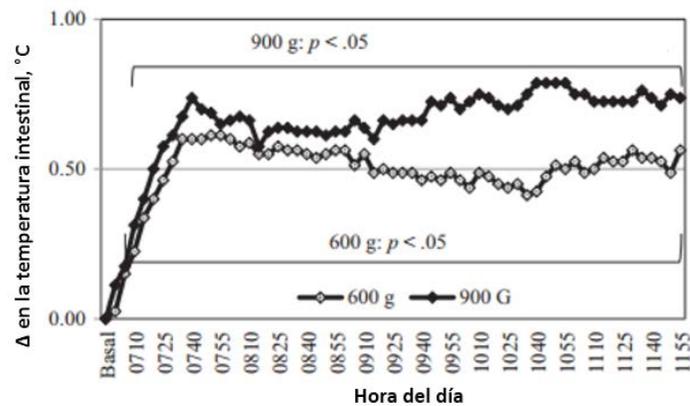
Tiempo, hr	Consumo de alimento, g			Tiempo, hr	Consumo de alimento, g		
	600	900	SEM		600	900	SEM
Basal	39.39	39.35	0.04	09:45	39.88	40.03	0.08
				09:50	39.86	40.01	0.08
Posprandial				09:55	39.89	40.04	0.07
07:00	39.43	39.41	0.01	10:00 <sup>b</sup>	39.86	40.00	0.09
07:05	39.55	39.48	0.04	10:05 <sup>b</sup>	39.84	40.03	0.08
07:10	39.63	39.61	0.01	10:10 <sup>b</sup>	39.89	40.05	0.08
07:15	39.74	39.70	0.02	10:15 <sup>b</sup>	39.88	40.04	0.08
07:20	39.80	39.80	0.00	10:20 <sup>b</sup>	39.85	40.01	0.08
07:25	39.86	39.88	0.01	10:25 <sup>b</sup>	39.84	40.00	0.08
07:30	39.93	39.91	0.01	10:30 <sup>b</sup>	39.85	40.01	0.08
07:35	40.00	39.98	0.01	10:35 <sup>c</sup>	39.81	40.05	0.12
07:40	40.00	40.04	0.02	10:40 <sup>c</sup>	39.83	40.09	0.13
07:45	40.00	40.00	0.00	10:45 <sup>c</sup>	39.88	40.09	0.10
07:50	40.01	39.99	0.01	10:50	39.91	40.09	0.09
07:55	40.01	39.95	0.03	10:55	39.90	40.09	0.09
08:00	40.00	39.96	0.02	11:00	39.93	40.05	0.06
08:05	39.98	39.98	0.01	11:05	39.89	40.05	0.08
08:10	39.99	39.96	0.02	11:10	39.90	40.03	0.06
08:15	39.95	39.88	0.03	11:15	39.94	40.03	0.04
08:20	39.95	39.93	0.01	11:20	39.93	40.03	0.05
08:25	39.98	39.94	0.02	11:25	39.93	40.03	0.05
08:30	39.96	39.94	0.01	11:30	39.96	40.03	0.03
08:35	39.96	39.93	0.02	11:35	39.94	40.06	0.04
08:40	39.95	39.93	0.01	11:40	39.94	40.04	0.05
08:45	39.94	39.93	0.00	11:45	39.93	40.01	0.04
08:50	39.95	39.91	0.02	11:50	39.89	40.05	0.08
08:55	39.96	39.93	0.02	11:55	39.96	40.04	0.04
09:00	39.96	39.93	0.02	12:00	39.90	40.03	0.06
09:05	39.91	39.96	0.02	12:05	39.93	40.01	0.04
09:10	39.95	39.94	0.01	12:10	39.98	40.03	0.02
09:15	39.89	39.90	0.01	12:15	39.96	40.00	0.02
09:20	39.90	39.96	0.03	12:20	39.98	40.01	0.01
09:25	39.89	39.95	0.03	12:25	39.93	40.06	0.06
09:30	39.89	39.96	0.04	12:30	39.99	40.01	0.01
09:35	39.89	39.96	0.04	12:35	39.95	40.00	0.02
09:40	39.86	39.96	0.05	12:40	39.90	39.99	0.04

<sup>a</sup> La temperatura intestinal preprandial fue la TI promedio registrada a intervalos de 5 minutos una hora antes de la comida, de 06:00 a 06:55 h.

<sup>b</sup> Nivel de ingesta de alimento:  $p < .10$

<sup>c</sup> Nivel de ingesta de alimento:  $p < .05$

La magnitud del cambio en la TI registrada después de la comida de la mañana en comparación con la TI basal se presenta en la figura 4. Mostró un rápido aumento la TI durante los primeros 35 y 40 minutos postprandial, llegando hasta 0,60 y 0,74°C, para los cerdos alimentados con 600 y 900 g de alimento/comida, respectivamente. A los 15 minutos postprandial y luego hasta las 12:00 h, la TI de los cerdos alimentados con 600 g/comida fue mayor ( $p < .05$ ) que la IT basal. En cerdos alimentados con 900 g/comida, el IT postprandial fue mayor ( $p < .05$ ) que el IT basal a partir de los 20 minutos posteriores a la ingesta y hasta las 12:00 h.



**Figura 4.** Cambios en la TI postprandial, en comparación con la TI preprandial (basal), después de la comida de la mañana.

En cuanto a la comida de la tarde, el promedio de la TI basal y postprandial de la cena (19:00 h), y hasta las 00:40 h (5 h y 40 min después de la comida), se presenta en el cuadro 3.

La TI basal no mostro diferencias ( $p > .10$ ) entre los niveles de ingesta de alimento (40.08 y 40.23 °C) para la ingesta de 600 y 900 g, respectivamente. Excepto los datos de TI de las 19:55 h y las 20:00 h, cuando la TI fue más alta ( $p < .05$ ) en los cerdos alimentados con 900 g/comida, la TI no mostró ser diferente entre los niveles de ingesta de alimento de 19:00 a 21:15 h ( $p > .10$ ). Sin embargo, de 21:20 a 00:40 h (excepto las 22:35 h), la TI tendió ( $p < .10$ ) o fue más alto en los cerdos alimentados con 900 g/comida ( $p < .05$ ).

**Cuadro 3.** Temperatura intestinal de cerdos alimentados con 600 o 900 g, registrada a intervalos de 5 minutos antes (basal) y después (Postprandial) de la comida de la tarde.

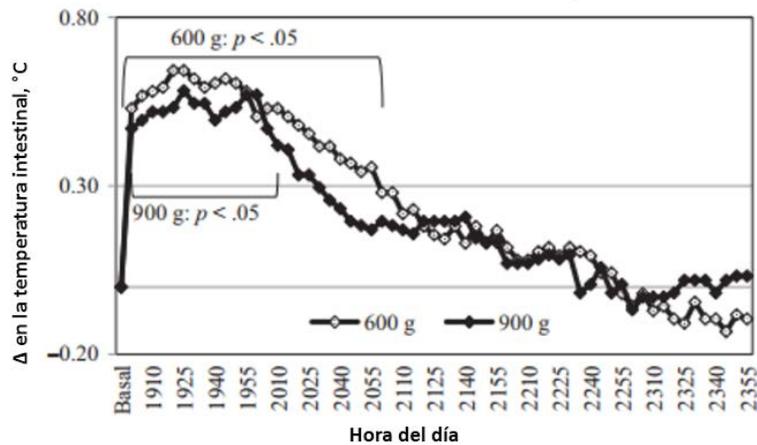
Consumo de alimento, g				Consumo de alimento, g			
Tiempo, hr	600	900	SEM	Tiempo, hr	600	900	SEM
				21:45 <sup>b</sup>	39.85	40.03	0.09
Basal	40.08	40.23	0.05	21:50 <sup>b</sup>	39.80	40.01	0.10
				21:55 <sup>b</sup>	39.84	40.01	0.08
Posprandial				22:00 <sup>c</sup>	39.79	39.95	0.08
19:00	40.20	40.35	0.07	22:05 <sup>c</sup>	39.75	39.95	0.10
19:05	40.24	40.38	0.07	22:10 <sup>c</sup>	39.75	39.95	0.10
19:10	40.25	40.40	0.07	22:15 <sup>b</sup>	39.78	39.96	0.09
19:15	40.26	40.40	0.07	22:20 <sup>c</sup>	39.79	39.98	0.09
19:20	40.31	40.41	0.05	22:25 <sup>b</sup>	39.76	39.96	0.10
19:25	40.31	40.46	0.07	22:30 <sup>b</sup>	39.79	39.98	0.09
19:30	40.29	40.43	0.07	22:35	39.78	39.86	0.04
19:35	40.26	40.43	0.08	22:40 <sup>b</sup>	39.76	39.89	0.06
19:40	40.28	40.38	0.05	22:45 <sup>b</sup>	39.71	39.94	0.11
19:45	40.29	40.40	0.05	22:50 <sup>b</sup>	39.71	39.86	0.07
19:50	40.28	40.41	0.06	22:55 <sup>c</sup>	39.65	39.89	0.12
19:55 <sup>b</sup>	40.25	40.45	0.10	23:00 <sup>c</sup>	39.61	39.81	0.10
20:00 <sup>c</sup>	40.18	40.45	0.13	23:05 <sup>c</sup>	39.65	39.85	0.10
20:05	40.20	40.35	0.07	23:10 <sup>c</sup>	39.60	39.85	0.12
20:10	40.20	40.30	0.05	23:15 <sup>c</sup>	39.61	39.85	0.12
20:15	40.18	40.29	0.05	23:20 <sup>c</sup>	39.58	39.86	0.14
20:20	40.15	40.21	0.03	23:25 <sup>c</sup>	39.56	39.90	0.17
20:25	40.13	40.21	0.04	23:30 <sup>c</sup>	39.63	39.90	0.13
20:30	40.09	40.18	0.04	23:35 <sup>c</sup>	39.58	39.90	0.16
20:35	40.09	40.14	0.02	23:40 <sup>c</sup>	39.58	39.86	0.14
20:40	40.05	40.11	0.03	23:45 <sup>c</sup>	39.54	39.90	0.18
20:45	40.04	40.08	0.02	23:50 <sup>c</sup>	39.59	39.91	0.16
20:50	40.01	40.06	0.02	23:55 <sup>c</sup>	39.58	39.91	0.16
20:55	40.03	40.05	0.01	00:00 <sup>c</sup>	39.58	39.88	0.15
21:00	39.95	40.08	0.06	00:05 <sup>c</sup>	39.54	39.86	0.16
21:05	39.95	40.06	0.05	00:10 <sup>c</sup>	39.51	39.91	0.20
21:10	39.89	40.05	0.08	00:15 <sup>c</sup>	39.53	39.90	0.18
21:15	39.90	40.04	0.07	00:20 <sup>c</sup>	39.53	39.85	0.16
21:20 <sup>c</sup>	39.85	40.08	0.11	00:25 <sup>c</sup>	39.49	39.81	0.16
21:25 <sup>c</sup>	39.83	40.08	0.12	00:30 <sup>c</sup>	39.49	39.89	0.20
21:30 <sup>c</sup>	39.81	40.08	0.13	00:35 <sup>c</sup>	39.51	39.85	0.17
21:35 <sup>c</sup>	39.85	40.08	0.11	00:40 <sup>c</sup>	39.51	39.81	0.15
21:40 <sup>c</sup>	39.80	40.09	0.14				

<sup>a</sup> La temperatura intestinal preprandial fue la TI promedio registrada a intervalos de 5 minutos una hora antes de la comida, de 18:00 a 18:55 h.

<sup>b</sup> Nivel de ingesta de alimento:  $p < .10$

<sup>c</sup> Nivel de ingesta de alimento:  $p < .05$

La magnitud del cambio en la TI después de la cena comparada con la TI basal se presenta en la figura 5. Se observa un rápido incremento en la TI durante los primeros 5 min postprandiales, hasta 0,57 y 0,49 ° C en cerdos alimentados con 600 y 900 g de alimento/comida, respectivamente.



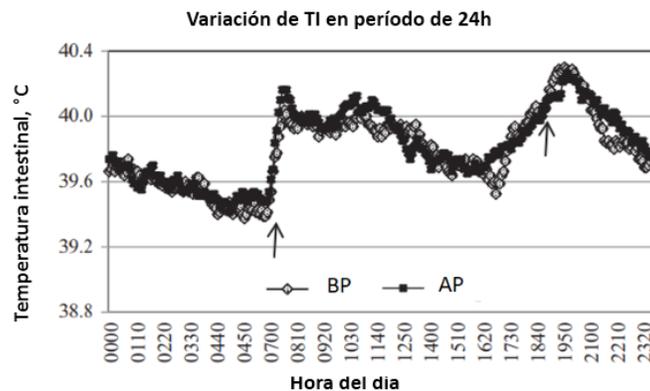
**Figura 5.** Cambios en la TI postprandial, en comparación con la TI preprandial (basal), después de la comida de la tarde.

Cada medición de TI se mantuvo más alto ( $p < .05$ ) que la TI basal desde las 19:05 h hasta las 20:55 h en los cerdos alimentados con 600 g/comida, y hasta las 20:10 h en los alimentados con 900 g/comida. En contraste con la comida de la mañana, la TI nocturna no difirió de la TI basal ( $p > .10$ ) después de 20:10 h en cerdos alimentados con 900, y después de las 20:55 h en los cerdos alimentados con 600 g.

## 7.2 Efecto del nivel de proteína en la dieta sobre la temperatura intestinal

El promedio de la TI en un período de 24 horas, en cerdos alimentados con una dieta baja o alta en proteínas (11 y 22% de PC respectivamente), se presenta en la figura 6. La TI siguió un patrón similar a lo largo del período de 24 horas, independientemente del nivel de proteína en la dieta.

La TI de los cerdos aumentó inmediatamente después de que los cerdos recibieron su comida de la mañana y permaneció alto durante aproximadamente 4.5 horas (hasta aproximadamente las 12:20 h) y luego se redujo gradualmente hasta alrededor de las 15:45 h y las 16:55 h para los niveles proteicos bajo y alto de la dieta, respectivamente.

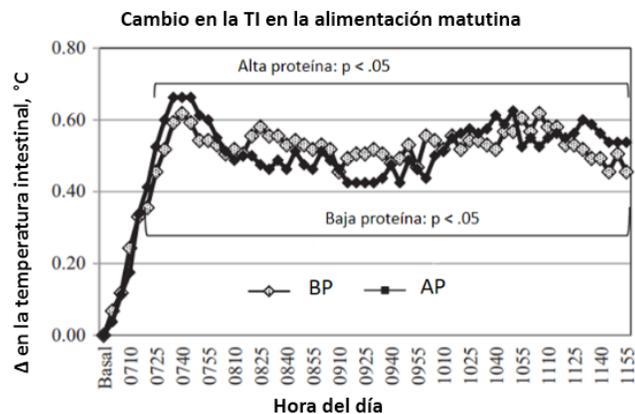


**Figura 6.** Variaciones en la temperatura intestinal durante un período de 24 horas en cerdos alimentados con una dieta baja (11%) y alta (22%) en proteína.

Después, la TI comenzó a subir de nuevo, incluso antes de que se proporcionara la alimentación vespertina. La TI siguió aumentando después de la cena, pero esta alta TI duró solo aproximadamente 45 minutos y luego disminuyó continuamente hasta alcanzar el valor más bajo a las 06:55 h del día siguiente. Similar al ensayo 1 (nivel de consumo), no hubo interacción entre el tratamiento dietético y el tiempo de medición ( $p = .62$ ); también, la TI después de las comidas de la mañana y de la tarde siguió un patrón bien definido de tres etapas.

No hubo diferencia en la TI preprandial o postprandial entre los cerdos alimentados con la dieta BP o AP en cualquier momento ( $p > .10$ ).

La magnitud del cambio en TI después de la comida de la mañana en comparación con la IT basal se presenta en la figura 7.

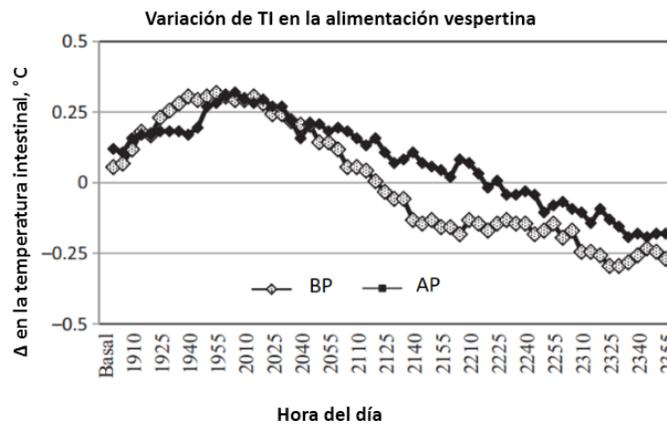


**Figura 7.** Cambios postprandiales en la temperatura intestinal, en comparación con la TI preprandial (basal), después de la comida de la mañana, en cerdos alimentados con una dieta baja (11%) y alta (22%) en proteína.

Se observó un rápido aumento en la TI durante los primeros 35 y 40 min postprandial cuando alcanzó el mayor aumento, hasta 0,62 y 0,66°C para los cerdos alimentados con las dietas baja y alta en proteínas, respectivamente. A los 15 minutos postprandial y hasta las 12:00 h, la TI de los cerdos alimentados con la dieta baja en proteínas o alta en proteínas fue mayor que la IT basal ( $p < .05$ ).

El cambio en la TI después de la alimentación de la tarde en comparación con la TI basal se presenta en la figura 8. La TI tendió a aumentar ligeramente después de 30 minutos de la alimentación, luego tendió a disminuir incluso por debajo de la

TI basal, sin cambios no significativos ( $p >$



embargo, los cambios no fueron significativos ( $p >$

.10).

**Figura 8.** Cambios postprandiales en la temperatura intestinal, en comparación con la TI preprandial (basal), después de la alimentación vespertina, en cerdos alimentados con una dieta baja (11%) y alta (22%) en proteína.

## VIII. DISCUSIÓN

Cuando los cerdos son sometidos a una alta TA, aumentan su temperatura corporal (Adriana Morales et al., 2016; Sarah C. Pearce et al., 2013) y disminuyen su consumo voluntario de alimento (S. Pearce et al., 2013), se cree que es debido a que la ingesta, el proceso de digestión y el metabolismo de nutrientes (o ETA), podría aumentar aún más la producción de calor corporal (Quiniou, Dubois, & Noblet, 2000). La composición de la dieta, especialmente el contenido de proteína, también parece afectar la producción de calor corporal. (van Milgen, Noblet, & Dubois, 2001) calcularon el ETA como la diferencia entre la producción de calor corporal (después de la alimentación) y la producción de calor en ayunas (producción de calor basal); utilizando un enfoque distinto, se calculó el ETA como la diferencia en la temperatura intestinal entre los estados postprandial y preprandial. El interés en este estudio es saber cómo el ETA a corto plazo afecta la TI de cerdos alojados en condiciones TN, que se define como el rango de la temperatura ambiente en el que la regulación de la temperatura corporal se logra mediante el control de la pérdida de calor sensible (Kingma et al., 2014) .

Si contamos con animales sanos, en reposo y en condiciones de termoneutralidad, cualquier cambio en su temperatura corporal se verá reflejado por el calor producido debido al ETA a corto plazo. En el presente estudio, los cerdos se encontraban sanos, en reposo excepto en el momento de la alimentación, y alojados en condiciones de TA bastante constantes ( $20.8 \pm 0.7$  ° C). Por lo tanto, los cambios que se observan en éstos cerdos se atribuyen únicamente a las

diferencias en el nivel de ingesta de alimento y al contenido de proteína de la dieta.

Los cerdos son capaces de mantener su TC relativamente constante dentro de un rango de condiciones de carga térmica a través de un mecanismo termorregulador bien regulado (Adair & Black, 2003). La temperatura corporal es el resultado del equilibrio entre la carga térmica y la liberación de calor al ambiente. La temperatura ambiente y la producción de calor corporal representan la mayor parte 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. La producción de calor por encima de la tasa metabólica basal en animales sanos y en reposo proviene del ETA (Westerterp, 2004). Referente a lo anterior, en el ensayo 1, se observó un rápido aumento en la TI dentro de los primeros 5 a 15 minutos después de ambas comidas, independientemente del nivel de ingesta de alimento, y este incremento en la TI se mantuvo elevado durante las siguientes 5 horas después de la comida de la mañana, pero solo menos de dos horas después de la cena.

El aumento postprandial de la TI registrado durante las etapas uno (aumento brusco de la TI) y dos (sostenimiento de la TI elevada) aparentemente fue el resultado de dos conjuntos separados de acciones. La etapa uno parece ser causado por la excitación y la actividad física de los cerdos relacionadas con algunas emociones (saltar, moverse alrededor del corral y chillidos provocados por la presencia de la persona encargada de alimentarlos) y el proceso de ingestión

de alimento (por ejemplo, movimiento corporal y masticación). Es importante tener en cuenta que esta actividad no duró más de 15 minutos.

Por lo tanto, la etapa dos parece ser el resultado del ETA a corto plazo. El tiempo promedio de tránsito de la digesta a través del estómago e intestino delgado en cerdos alimentados con una dieta típica a base de cereal y soya es de aproximadamente 1 y 4 horas, respectivamente (Wilfart, Montagne, Simmins, Noblet, & van Milgen, 2007) y la DIE de la materia seca y aminoácidos es de alrededor del 90% (A. Morales, Pérez, et al., 2016). Por lo tanto, se estima que la mayor parte del alimento que se brindó en la mañana se digirió al intestino delgado y los nutrientes resultantes se absorbieron y metabolizaron en las primeras 5 horas postprandiales, lo que coincide con el aumento sostenido de la TI después de la comida de la mañana. La marcada reducción en la TI que inicia alrededor de las 13:30 h y hasta que los cerdos recibieron la alimentación vespertina apoya la hipótesis de que la digestión del alimento en intestino delgado se completó durante las primeras 5 horas postprandiales y que el metabolismo de los nutrientes absorbidos estaba en progreso. Por lo tanto, el aumento de la TI iniciado por la actividad física de los cerdos parece estar sostenido por el calor producido durante la alimentación digestión y el metabolismo de los nutrientes absorbidos. Además en otros estudios se ha demostrado que el ETA refleja, al menos en parte, el calor producido y luego se pierde a medida que la energía ingerida se convierte, a través de varias vías oxidativas conocidas, en formas que puede ser almacenado en el cuerpo (Hill et al., 1984).

En el ensayo 1, el aumento sostenido de la TI (etapa dos) registrado después de que los cerdos recibieron su comida parecía seguir un camino bifásico. En la primera fase, la TI registrada durante las primeras 2.50 (de 07:05 a 09:55 h) y 2.10 h (de 19:05 a 21:15 h) postprandial no difirió entre los niveles de alimentación. Sin embargo, la TI registrada de 10:00 a 10:45 h (comida de la mañana) en cerdos alimentados con 1,8 kg/día fue 0,17 ° C más alto que en los cerdos alimentados con 1,2 kg / día (40,03 vs. 39,86 °C); también, la TI registrada de 21:20 a 00:40 h (cena) en cerdos alimentados con 1.8 kg/día fue 0.22 °C más alto que en los cerdos alimentados con 1.2 kg/día (40.0 vs. 39.77 ° C). Las concentraciones máximas de glucosa en sangre y de aminoácidos se alcanzan aproximadamente 2 horas postprandial (Gojmerac, Mandić, Lojkić y Bilandzić, 2000; Yen, Kerr, Easter y Parkhurst, 2004).

Por lo tanto, los resultados de este ensayo sugieren que la producción de calor relacionada con la digestión no se vio afectada por la cantidad de alimento ingerido, lo que concuerda con (van Milgen et al., 2001). Por el contrario, estos datos indican que la mayor TI registrada en los cerdos alimentados con 1.8 kg/día después de ambas comidas se debió al metabolismo de los nutrientes absorbidos, en comparación con los alimentados con 1.2 kg/día. La TI mayor en los cerdos alimentados con 1.8 kg/día durante la etapa tres (0,22 °C) respalda esta hipótesis. Además, el incremento en la TI en los cerdos alimentados con 1.8 kg/día fue mayor (0,73 °C) que en los cerdos alimentados con 1.2 kg / día (0,46 °C). Por lo tanto, el nivel de ingesta de alimento de hecho afectó la TI postprandial, pero este efecto difirió en longitud y magnitud entre los tiempos de alimentación. Hecho que

concuerta en estudios en humanos, en el que el ETA fue evidente inmediatamente después de la ingestión de la comida, y su valor máximo se alcanzó aproximadamente 60 a 90 minutos más tarde. El valor máximo del ETA se correlacionó altamente con el ETA tres horas después de la comida de 500 kcal ( $r=0.90$ ,  $P<0.01$ ), la comida de 1000 kcal ( $r=0.87$ ,  $P<0.01$ ), y la comida de 1500 kcal ( $r=0.88$ ,  $P<0.01$ ). El ETA a las tres horas aumentó sistemáticamente a medida que aumentaba el tamaño de la comida. Este estudio demostró que las comidas progresivamente más grandes producen aumentos sistemáticos en la temperatura corporal postprandial, por efecto del nivel de consumo (Hill et al., 1984).

La etapa 2 mostró un aumento en la TI sustancialmente más corta después de la cena (menos de una hora), comparada con la comida de la mañana, sugiere que otros factores además del ETA a corto plazo están también asociados con los mecanismos de termorregulación corporal. (Eckel-Mahan & Sassone-Corsi, 2013) sugieren que la temperatura corporal en los seres humanos oscila de forma circadiana con un pico observado durante la tarde y un valle durante las primeras horas de la mañana. Además, el metabolismo de los nutrientes parece variar según el momento de consumir el alimento (Panda, 2016). Por lo tanto, el ritmo circadiano puede ser responsable de las diferencias en la TI postprandial entre las comidas de la mañana y de la tarde. La reducción de la temperatura corporal nocturna coincide con las fluctuaciones diurnas de la producción de calor y la demanda térmica de los cerdos (Mccracken & Gray, 1980). Cuando los cerdos pueden controlar su temperatura ambiente, la preferencia térmica reflejó un patrón

circadiano (diurno) en el que los cerdos preferían las temperaturas más altas durante el día y eligen tener una temperatura más baja durante la noche (Bench & Gonyou, 2007; YAN, 2000). (Henken, Brandsma, van der Hel, & Verstegen, 1993) demostraron que la producción de calor y la demanda térmica de cerdos de diferentes tamaños y razas llega a la nivel más bajo durante la noche.

De acuerdo con (H. Karst, J. Steiniger, Noack, & D., 1984), entre los macronutrientes, la proteína tiene un efecto térmico más alto que los carbohidratos y las grasas. En cuanto al ensayo 2, los cerdos alimentados con la dieta alta en proteínas consumieron el doble de proteína que los cerdos alimentados con la dieta baja en proteínas (396 y 198 g de proteína por día, respectivamente). Además, la dieta baja en proteínas tenía una relación de AA esenciales AA:Lys (270 vs. 158) o mostraba desequilibrio de AA que la dieta alta en proteínas. Por lo tanto, la ausencia de diferencia en la TI observada en el ensayo 2 parece indicar que: (I) el proceso de ingestión y digestión de proteínas dietéticas no tiene ningún efecto sobre la producción de calor intestinal o (II) los cerdos en reposo, sanos y alojados en condiciones TN, fueron capaces de liberar el calor adicional producido debido al consumo excesivo de proteína.

De acuerdo a (van Milgen et al., 2001) no informaron diferencias en el ETA a corto y largo plazo entre los cerdos alimentados con una dieta desequilibrada en proteína (gluten de maíz) o equilibrada (caseína). Además, es posible que el gran desequilibrio de AA en la dieta baja en proteínas haya tendido a compensar la TI

teóricamente baja resultante de la pequeña cantidad de proteína consumida por estos cerdos.

En general, los resultados del presente estudio mostraron un rápido aumento postprandial en la TI de cerdos, y que el incremento de TI se sostiene más tiempo después de la comida de la mañana comparada con la cena, independientemente del nivel de ingesta de alimento o el contenido de proteína dietética. Esta diferencia en la TI parece estar influenciada también por el ritmo circadiano. Además, estos datos muestran que la alta ingesta de alimento provoca un aumento en la TI de los cerdos en termoneutralidad, sin embargo, el contenido proteico de la dieta no tuvo ningún efecto sobre la misma.

## IX. CONCLUSIÓN

En conclusión, los cerdos alojados en condiciones ambientales de termoneutralidad elevan su TI con el aumento en el nivel de consumo de alimento, pero el consumo de dietas con desequilibrio de AA no tiene ningún efecto en la TI. Finalmente, estos datos sugieren la necesidad de determinar si esta respuesta también ocurre en cerdos expuestos a condiciones de estrés por calor.

## REFERENCIAS

- Aarnink, A. J. A., Van Den Berg, A. J., Keen, A., Hoeksma, P., & Verstegen, M. W. A. (1996). Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 64(4), 299–310. <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0071>
- Acheson, K. J. (1994). Obesity: Do carbohydrates make you fat? *Emirates Journal of Food and Agriculture*.
- Adair, E. R., & Black, D. R. (2003). Thermoregulatory Responses to RF Energy Absorption. *Bioelectromagnetics*, 24(6), 17–38. <https://doi.org/10.1002/bem.10133>
- AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis*. Gaithersburg, MD, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Bacigalupe, L. D., Rezende, E. L., Kenagy, G. J., & Bozinovic, F. (2003). Activity and space use by degus: a trade-off between thermal conditions and food availability? *Journal of Mammalogy*, 84(1), 311–318. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2003\)084<0311:AASUBD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2003)084<0311:AASUBD>2.0.CO;2)
- Bench, C. J., & Gonyou, H. W. (2007). Temperature preference in piglets weaned at 12–14 days of age. *Canadian Journal of Animal Science*, 87(3), 299–302. <https://doi.org/10.4141/CJAS06040>
- Biesel, W., & Nachtigall, W. (1987). Pigeon flight in a wind tunnel. *Journal of Comparative Physiology B*, 157(1), 117–128. <https://doi.org/10.1007/BF00702736>
- Bray, G. A., Whipp, B. J., Koyal, S. N., & Wasserman, K. (1977). Some respiratory

- and metabolic effects of exercise in moderately obese men. *Metabolism*, 26(4), 403–412. [https://doi.org/10.1016/0026-0495\(77\)90107-X](https://doi.org/10.1016/0026-0495(77)90107-X)
- Bretz, F., Hothorn, T., & Westfall, P. (2011). *Multiple comparisons using R* (1st Editio). Boca Raton, FL. USA: Chapman & Hall/CRC, Taylor & Francis Group, LLC. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Buckley, L. B., Hurlbert, A. H., & Jetz, W. (2012). Broad-scale ecological implications of ectothermy and endothermy in changing environments. *Global Ecology and Biogeography*, 21(9), 873–885. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2011.00737.x>
- Buttery P. J. and Boorman K. (1976). The energetic efficiency of amino acid metabolism. *Protein Metabolism and Nutrition*, 197–206.
- Catherine E. Adams, M. S. and K. J. M. (1981). Periodicity of eating: implications for human food consumption. *Nutrition Research*, 1(5), 525–550. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(81\)80056-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0271-5317(81)80056-5)
- Collin, a, Lebreton, Y., Fillaut, M., Vincent, a, Thomas, F., & Herpin, P. (2001). Effects of exposure to high temperature and feeding level on regional blood flow and oxidative capacity of tissues in piglets. *Experimental Physiology*, 86(1), 83–91. <https://doi.org/10.1113/eph8602102>
- 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/10.1071/AN15255>
- D'Alessio, D. A., Kavle, E. C., Mozzoli, M. A., Smalley, K. J., Polansky, M., Kendrick, Z. V., ... Owen, O. E. (1988). Thermic effect of food in lean and

- obese men. *Journal of Clinical Investigation*, 81(6), 1781–1789.  
<https://doi.org/10.1172/JCI113520>
- Dauncey, M. (1990). Activity and Energy Expenditure. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 68(Sims 1986), 17–27.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1139/y90-002>
- Eckel-Mahan, K., & Sassone-Corsi, P. (2013). Metabolism and the Circadian Clock Converge. *Physiological Reviews*, 93(1), 107–135.  
<https://doi.org/10.1152/physrev.00016.2012>
- FAO. (2010). FAO Statistics. Retrieved from <http://faostat.fao.org/>
- FIRA. (2017). Panorama agroalimentario, Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial, 35. Retrieved from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama\\_Agroalim en%0Aario\\_Carne\\_de\\_Cerdo\\_2016.pdf%5Cnhttp://www.gob.mx/cms/uploads /attachm%0Aent/file/61948/Panorama\\_Agroalimentario\\_Carne\\_de\\_Bovino\\_20 15.pdf%5Cnhtt%0Ap://www.porcimex.org/Compendio E](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200634/Panorama_Agroalim_en%0Aario_Carne_de_Cerdo_2016.pdf%5Cnhttp://www.gob.mx/cms/uploads/attachm%0Aent/file/61948/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Bovino_2015.pdf%5Cnhtt%0Ap://www.porcimex.org/Compendio E)
- Flatt, J. P., Ravussin, E., Acheson, K. J., & Jequier, E. (1985). Effects of dietary fat on postprandial substrate oxidation and on carbohydrate and fat balances. *Journal of Clinical Investigation*, 76(3), 1019–1024.  
<https://doi.org/10.1172/JCI112054>
- Giordano, M., & Castellino, P. (1997). Correlation between amino acid induced changes in energy expenditure and protein metabolism in humans. *Nutrition*, 13(4), 309–312. [https://doi.org/10.1016/S0899-9007\(97\)00082-8](https://doi.org/10.1016/S0899-9007(97)00082-8)
- Glazier, D. S. (2008). Effects of metabolic level on the body size scaling of metabolic rate in birds and mammals. *Proceedings of the Royal Society B:*

*Biological Sciences*, 275(1641), 1405–1410.

<https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0118>

H. Karst, J. Steiniger, Noack, R., & D., H. S. (1984). Diet-Induced Thermogenesis in Man: Thermic Effects of Single Proteins, Carbohydrates and Fats Depending on Their Energy Amount. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 28, 245–252. <https://doi.org/10.1159/000176811>

H. Stein, S. W. Kim, T. T. N. and R. A. E. (2001). Standardized amino acid digestibilities in growing pigs and sows. *Journal of Animal Science*, 79(April 2015), 2113–2122. <https://doi.org/https://doi.org//2001.7982113x>

Hall, C. a. S., Stanford, J. a., & Hauer, F. R. (1992). The distribution and abundance of organisms as a consequence of energy balances along multiple environmental gradients. *Oikos*, 65(3), 377–390. <https://doi.org/10.2307/3545553>

Hayashi, K., Ito, N., Ichikawa, Y., & Suzuki, Y. (2014). Effect of postprandial thermogenesis on the cutaneous vasodilatory response during exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(8), 920–926. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0506>

Heinrich, B. (1977). Why have some animals evolved to regulate a high body temperature. *The American Naturalist**American Naturalist*, 111(4), 623–640. <https://doi.org/10.2307/2678832>

Henken, A. M., Brandsma, H. A., van der Hel, W., & Verstegen, M. W. (1993). Circadian rhythm in heat production of limit-fed growing pigs of several breeds kept at and below thermal neutrality. *Journal of Animal Science*, 71(6), 1434–1440. <https://doi.org/10.2527/1993.7161434x>

- Hill, J. O., Heymsfield, S. B., McMannus, C., & DiGirolamo, M. (1984). Meal size and thermic response to food in male subjects as a function of maximum aerobic capacity. *Metabolism*, 33(8), 743–749. [https://doi.org/10.1016/0026-0495\(84\)90216-6](https://doi.org/10.1016/0026-0495(84)90216-6)
- Horowitz, M., & Robinson, S. D. M. (2007). Heat shock proteins and the heat shock response during hyperthermia and its modulation by altered physiological conditions. *Progress in Brain Research*, 162(06), 433–446. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(06\)62021-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(06)62021-9)
- Horton, E. S. (1983). Introduction: an overview of the assessment and regulation of energy balance in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 38(6), 972–977.
- Humphries, M. M., & Careau, V. (2011). Heat for nothing or activity for free? Evidence and implications of activity-thermoregulatory heat substitution. *Integrative and Comparative Biology*, 51(3), 419–431. <https://doi.org/10.1093/icb/icr059>
- Huynh, T. T. T., Aarnink, A. J. A., Verstegen, M. W. A., Gerrits, W. J. J., Heetkamp, M. J. H., Kemp, B., & Canh, T. T. (2005). Effect of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *Journal of Animal Science*, 83(March), 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(12), 3075–3087. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2527/2003.81123075x>

- Kinabo, J. L., & Durnin, J. V. (1990). Thermic effect of food in man: effect of meal composition, and energy content. *The British Journal of Nutrition*, *64*(1 990), 37–44. <https://doi.org/10.1079/BJN19900007>
- Kingma, B. R., Frijns, A. J., Schellen, L., & van Marken Lichtenbelt, W. D. (2014). Beyond the classic thermoneutral zone. *Temperature*, *1*(2), 142–149. <https://doi.org/10.4161/temp.29702>
- Levine, J. A. (2004). Nonexercise activity thermogenesis (NEAT): environment and biology. *AJP: Endocrinology and Metabolism*, *286*(5), E675–E685. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00562.2003>
- Lichtwark, G. A., & Wilson, A. M. (2007). Is Achilles tendon compliance optimised for maximum muscle efficiency during locomotion? *Journal of Biomechanics*, *40*(8), 1768–1775. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.07.025>
- Lifshitz, A. (2007). Fiebre y otras formas de elevacion termica. *Revista de Investigacion Clinica*, *59*(2), 130–138.
- Lucas, E. M., Randall, J. M., & Meneses, J. F. (2000). Potential for evaporative cooling during heat stress periods in pig production in Portugal (Alentejo). *Journal of Agricultural and Engineering Research*, *76*(4), 363–371. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0550>
- Manno, M.C., Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Oliveira, W.P., V. V., & R.G.M., Silva, B.A.N., Saraiva, E.P., Lima, K. R. S. (2006). Effects of environmental temperature on performance of pigs from 30 to 60 kg live weight. *Brazilian Journal of Animal Science*, *35*, 471–477. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982006000200019>.
- Mccracken, K. J., & Gray, R. (1980). Further studies on the heat production and

effective lower critical temperature of early-weaned pigs under commercial conditions of feeding and management. *Animal Production*, 39(2), 283–290. <https://doi.org/10.1017/S0003356100041921>

McNab, B. (2002). *The physiological ecology of vertebrates: a view from energetics*. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Michael R. Muirhead, T. J. L. A. (1997). *Managing Pig Health and the Treatment of Disease: A Reference for the Farm*. (T. J. L. A. Michael R. Muirhead, Ed.). 5M Enterprises.

Mikkelsen PB Astrup A., T. S. (2000). Effect of fat-reduced diets on 24-h energy expenditure: comparisons between animal protein, vegetable protein, and carbohydrate. *American Society for Clinical Nutrition*, (1), 1135–1141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/72.5.1135>

Morales, A., Cervantes, M., Cota, M., Arce, N., Castillo, G., Avelar, E., & Espinoza, S. (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>

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., Pérez, M., Castro, P., Ibarra, N., Bernal, H., Baumgard, L. H., & Cervantes, M. (2016). Heat stress affects the apparent and standardized ileal digestibilities of amino acids in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 94(8), 3362–3369. <https://doi.org/10.2527/jas2016-0571>
- Nyachoti, C. M., De Lange, C. F. M., McBride, B. W., Leeson, S., & Schulze, H. (2000). Dietary influence on organ size and in vitro oxygen consumption by visceral organs of growing pigs. *Livestock Production Science*, 65(3), 229–237. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00157-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00157-3)
- Ochoa, L. (1999). Norma Oficial Mexicana, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. *Nom-062-Zoo*, 1–58. Retrieved from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999\\_220801.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf)
- Paddon-Jones, D., Westman, E., Mattes, R. D., Wolfe, R. R., & Astrup, A. (2008). Protein, weight management, and satiety. *American Journal of Clinical Nutrition*, 87(May), 1558–1561. Retrieved from <http://www.nejm.org/doi/abs/10.1056/NEJM199508033330502>
- Panda, S. (2016). Circadian physiology of metabolism. *Science*, 354(6315), 1008–1015. <https://doi.org/10.1126/science.aah4967>
- Passmore, R. (1956). Vol. 15 Energy expenditure in man 83, 15(May), 83–89.
- Pearce, 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., Mani, V., Boddicker, R. L., Johnson, J. S., Weber, T. E., Ross, J. W., ... Gabler, N. K. (2013). Heat Stress Reduces Intestinal Barrier Integrity and Favors Intestinal Glucose Transport in Growing Pigs. *PLoS ONE*, 8(8), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070215>
- 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>
- Pearce, S., Gabler, N., Ross, J. W., Escobar, J., Patience, J. F., Rhoads, R. P., & Baumgard, L. H. (2013). The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. *Journal of Animal ...*, (91), 2108–2118. <https://doi.org/10.2527/jas2012-5738>
- Poehlman, E. T., & Horton, E. S. (1989). The Impact of Food Intake and Exercise on Energy Expenditure. *Nutrition Reviews*, 47(5), 129–137. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1989.tb02817.x>
- Pullicino, E., Goldberg, G. R., & Elia, M. (1991). Energy expenditure and substrate metabolism measured by 24 h whole-body calorimetry in patients receiving cyclic and continuous total parenteral nutrition. *Clinical Science (London, England: 1979)*, 80, 571–582. <https://doi.org/10.1042/cs0800571>
- 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, 245–253.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(99\)00135-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00135-9)

Quiniou, N., Noblet, J., van Milgen, J., & 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(01), 97. <https://doi.org/10.1079/BJN2000217>

Ravussin, E., Ravussin, E., Lillioja, S., Lillioja, S., Anderson, T. E., Anderson, T. E., ... Borgardus, C. (1986). Determinants of 24-hr energy expenditure in man: Methods and results using a respiratory chamber. *Journal of Clinical Investigation*, 78(December), 1568–1578. <https://doi.org/10.1172/JCI112749>

Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J. L., & Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707–728. <https://doi.org/10.1017/S1751731111002448>

Renaudeau, D., Frances, G., Dubois, S., Gilbert, H., & Noblet, J. (2013). Effect of thermal heat stress on energy utilization in two lines of pigs divergently selected for residual feed intake. *Journal of Animal Science*, 91(3), 1162–1175. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5689>

Rezende, E. L., & Bacigalupe, L. D. (2015). Thermoregulation in endotherms: physiological principles and ecological consequences. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 185(7), 709–727. <https://doi.org/10.1007/s00360-015-0909-5>

Rosenbaum, M., & Leibel, R. L. (2010). Adaptive thermogenesis in humans. *International Journal of Obesity*, 34(S1), S47–S55. <https://doi.org/10.1038/ijo.2010.184>

- Rudine, A. C., Sutherland, M. A., Hulbert, L., Morrow, J. L., & McGlone, J. J. (2007). Diverse production system and social status effects on pig immunity and behavior. *Livestock Science*, *111*(1–2), 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.12.004>
- Schulz, Y. (1983). Long-term measurements of energy expenditure in humans using a respiration chamber<sup>13</sup>. *The American Journal of Clinical Nutrition*, (June), 989–998.
- Schutz, Y., Bessard, T., & Jequier, E. (1984). Diet-induced thermogenesis measured over a whole day in obese and nonobese women. *American Journal of Clinical Nutrition*, *40*(3), 542–552. <https://doi.org/10.1093/ajcn/40.3.542>
- St-Pierre, N. R., Cobanov, B., & Schnitkey, G. (2003). Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries. *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)
- Steiner, T., Bornholdt, U., Sauer, W. C., Ahrens, F., Jørgensen, H., & Mosenthin, R. (1983). Use of the mobile nylon bag technique for determination of apparent ileal digestibilities of crude protein and amino acids in feedstuffs for pigs. *Czech Journal of Animal Science*, *56*(10), 451–464. <https://doi.org/10.17221/3238-CJAS>
- Torre-Bueno, J. R. (1976). Temperature regulation and heat dissipation during flight in birds. *The Journal of Experimental Biology*, *65*(2), 471–482.
- Vallerand, a L., & Jacobs, I. (1992). Energy metabolism during cold exposure. *International Journal of Sports Medicine*, *13 Suppl 1*, S191–S193. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024636>
- van der Lans, A. A. J. J., Hoeks, J., Brans, B., Vijgen, G. H. E. J., Visser, M. G. W.

- M. G. W., Vosselman, M. J., ... van Marken Lichtenbelt, W. D. (2013). Cold acclimation recruit human brown fat and increases nonshivering thermogenesis. *The Journal of Clinical Investigation*, 123(8), 3395–3403. <https://doi.org/10.1172/JCI68993>
- van Milgen, J., Noblet, J., & Dubois, S. (2001). Energetic efficiency of starch, protein and lipid utilization in growing pigs. *The Journal of Nutrition*, 131(4), 1309–1318.
- Van Zant, R. S. (1992). Influence of diet and exercise on energy expenditure--a review. *Int J Sport Nutr*, 2(1), 1–19. <https://doi.org/10.1123/ijsn.2.1.1>
- Verstegen, M. W. A., & Leuven, K. U. (1986). Diurnal variation in the thermal demand of growing pigs. *Thermal Biology*, 11(2), 131–135. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0306-4565\(86\)90034-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0306-4565(86)90034-3)
- Wang, Z., Heshka, S., Zhang, K., Boozer, C. N., & Heymsfield, S. B. (2001). Resting Energy Expenditure: Systematic Organization and Critique of Prediction Methods\*. *Obesity*, 9(5), 331–336. <https://doi.org/10.1038/oby.2001.42>
- Westerterp, K. R. (2004). Diet induced thermogenesis. *Nutrition and Metabolism*, 1, 1–5. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-1-5>
- Wieser, W. (1985). A new look at energy conversion in ectothermic and endothermic animals. *Oecologia*, 66(4), 506–510. <https://doi.org/10.1007/BF00379341>
- 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. *British Journal of Nutrition*, 98(1), 54–

62. <https://doi.org/10.1017/S0007114507682981>

Witte, D. P., Ellis, M., Mckeith, F. K., & Wilson, E. R. (2000). Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. *Animal Science*, 78(5), 1272–1276. <https://doi.org/https://doi.org/10.2527/2000.7851272x>

YAN, P. (2000). Diurnal Variation of Thermoregulatory Responses in Piglets under Fasting and Feeding. *Animal Science*, 71(10), 510–515.

Young, B. (1983). The role of the sympathetic nervous system and catecholamines in the regulation of energy. *Clinical Nutrition*, 38, 1018–1024. <https://doi.org/10.1093/ajcn/38.6.1018>

Yu, J., Yin, P., Liu, F., Cheng, G., Guo, K., Lu, A., ... Xu, J. (2010). Effect of heat stress on the porcine small intestine: a morphological and gene expression study. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular & Integrative Physiology*, 156(1), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.01.008>