

**EFFECTO DE LOS VIAJES DE CORTA DURACIÓN Y LA UBICACIÓN EN LOS  
COMPARTIMIENTOS DEL CAMIÓN CON VENTILACIÓN PASIVA SOBRE LOS  
PARÁMETROS FISIOLÓGICOS, CONDUCTUALES Y DE CALIDAD DE LA CARNE  
EN CERDOS DE CEBA DE UNA PORCICOLA DEL TROPICO MEDIO**

**DANIEL OCTAVIO IBÁÑEZ JURADO**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
MAESTRÍA EN CIENCIAS VETERINARIAS**

**2023**

**EFFECTO DE LOS VIAJES DE CORTA DURACIÓN Y UBICACIÓN EN LOS  
COMPARTIMIENTOS DEL CAMIÓN CON VENTILACIÓN PASIVA SOBRE LOS  
PARÁMETROS FISIOLÓGICOS, CONDUCTUALES Y DE CALIDAD DE LA CARNE  
EN CERDOS DE CEBA DE UNA PORCICOLA DEL TROPICO MEDIO**

**DANIEL OCTAVIO IBÁÑEZ JURADO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Magíster en Ciencias Veterinarias**

**Directora:**

**Marlyn Hellen Romero Peñuela MVZ, Esp, MsC, PhD**

**Grupo de Investigación:**

**CIENVET**

**Línea de Investigación:**

**Bienestar animal**

**UNIVERSIDAD DE CALDAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS VETERINARIAS**

**2023**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
**Firma de la Directora de la tesis**

\_\_\_\_\_  
**Firma del jurado**

\_\_\_\_\_  
**Firma del jurado**

## **DEDICATORIA**

A mi madre Nora, y mi tía Roció mis ejemplos de vida, buen trato y rectitud.

**Manizales, Caldas, 2023**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco enormemente a las personas e instituciones que me ayudaron durante este proceso de posgrado como lo son: Mi madre, mi familia, la Universidad de Caldas, los profesores de posgrado, el Frigorífico de Manizales, la Hacienda la Pradera, entre muchas otras más.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo general .....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. MARCO TEÓRICO .....	15
3.1. Biología y genética de los cerdos.....	15
3.2. El estrés como indicador de Bienestar Animal (BA).....	16
3.3. Biomarcadores sanguíneos de estrés .....	19
3.3.1. <i>Cortisol</i> .....	20
3.3.2. <i>Hematocrito (VGA)</i> .....	21
3.3.3. <i>Glucosa</i> .....	21
3.3.4. <i>Lactato</i> .....	22
3.3.5. <i>Relación neutrófilos: linfocitos (N:L) en el hemograma</i> .....	22
3.4. Estrés térmico en cerdos.....	24
3.5. Factores que causan estrés en los cerdos y su relación con la calidad de la carne.....	25
3.6. Estrés durante del transporte de los cerdos .....	28
3.7. Pérdidas durante el transporte .....	30
3.8. Factores que afectan el BA y la calidad de la carne durante el transporte de cerdos.....	31
3.8.1. <i>Densidad de Carga</i> .....	31
3.8.2. <i>Duración del Transporte</i> .....	32
3.8.3. <i>Velocidad del Camión</i> .....	32
3.8.4. <i>Microclima del Camión</i> .....	33
3.9. Factores que determinan el microclima en los compartimientos del camión .....	34
3.9.1. <i>Condiciones climáticas externas</i> .....	34
3.9.2. <i>Temperatura y HR</i> .....	35
3.9.3. <i>Ventilación y flujo de aire</i> .....	36
3.9.4. <i>Ubicación de los animales dentro de los compartimientos del camión</i> .....	37

4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
4.1. Declaración ética .....	40
4.2. Localización .....	40
4.3. Tipo de estudio y Animales.....	40
4.4. Manejo en granjas y planta de sacrificio .....	41
4.5. Transporte.....	42
4.6. Monitoreo ambiental .....	43
4.7. Comportamiento durante el desembarque.....	44
4.8. Identificación de cerdos no ambulatorios y muertos.....	46
4.9. Indicadores de bienestar fisiológicos .....	47
4.9.1. Biomarcadores de estrés .....	47
4.10. pH y temperatura de la canal.....	48
4.11. Análisis estadístico.....	49
5. RESULTADOS .....	50
5.1. Microclima durante el transporte .....	50
5.2. Comportamiento durante el desembarque.....	54
5.3. Indicadores fisiológicos.....	55
5.4. Cerdos no ambulatorios y muertos.....	57
5.5. Calidad de carne .....	57
6. DISCUSIÓN .....	58
6.1. Microclima durante el transporte .....	58
6.2. Comportamiento durante el desembarque.....	61
6.3. Indicadores fisiológicos.....	62
6.4. Cerdos no ambulatorios y muertos.....	67
6.4. Calidad de carne .....	68
7. CONCLUSIONES.....	71
8. RECOMENDACIONES .....	72
9. REFERENCIAS .....	73

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de referencia de biomarcadores sanguíneos de estrés en cerdos .....	23
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados ( $\pm$ SE) de los indicadores de bienestar conductual y de manejo durante el desembarque de cerdos comerciales según compartimento de camión. ....	54
Tabla 3. Valores promedio ( $\pm$ SE) de temperatura, HR, THI, indicadores fisiológicos, temperatura de la piel y pH <sub>45</sub> para todos los compartimentos y animales en las plataformas superior e inferior del camión. ....	56



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Esquema de los cuatro compartimentos del camión donde se localizaron los cerdos durante el experimento (C1-C4). ..... 43
- Figura 2.** Temperatura promedio (Temp) en cuatro compartimentos del camión con ventilación natural, durante el transporte de corta duración bajo condiciones del trópico medio..... 51
- Figura 3.** Humedad relativa promedio (HR%) en cuatro compartimentos del camión con ventilación natural, durante el transporte de corta duración bajo condiciones del trópico medio.52
- Figura 4.** Índice de temperatura-humedad promedio (THI) en cuatro compartimentos del camión con ventilación natural, durante el transporte de corta duración bajo condiciones del trópico medio..... 53

## RESUMEN

El transporte es una de las experiencias más estresantes en la vida de los cerdos comerciales, durante este las condiciones ambientales pueden cambiar abruptamente y pueden producir estrés térmico, lo que afecta de manera negativa el bienestar animal, la salud y la eficiencia productiva de los cerdos. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de los viajes de corta duración y la localización en los compartimentos de un camión con ventilación pasiva sobre las respuestas fisiológicas y conductuales al estrés del transporte y la calidad de la carne en cerdos comerciales. Los valores THI generales registrados en los cuatro compartimentos estuvieron por debajo del umbral considerado "alerta" para el estrés térmico en los cerdos ( $23.9^{\circ}\text{C}$  y  $\text{THI} \leq 74$ ). Las concentraciones séricas de cortisol, y la (N/L) estuvieron por encima de las concentraciones consideradas como normales para la especie ( $P < 0.05$ ), no se observaron diferencias significativas en los valores promedio del  $\text{pH}_{45}$  de la carne de acuerdo con el compartimento del camión ( $P > 0.05$ ). La planificación del transporte en las horas de la mañana y la consideración del ambiente térmico del camión es esencial para disminuir el estrés térmico, las pérdidas económicas y los efectos negativos en la calidad de la carne.

**Palabras clave:** Estrés térmico, microclima, transporte terrestre, porcinos, trópico medio.

## 1. INTRODUCCIÓN

El transporte es una de las experiencias más estresantes en la vida de los cerdos comerciales, particularmente cuando ocurre bajo condiciones ambientales extremas (1). Durante el transporte las condiciones ambientales pueden cambiar abruptamente y pueden producir estrés térmico, que consiste en la incapacidad de los animales de mantener una temperatura corporal constante mediante la adaptación fisiológica, física (conducción) y el comportamiento (2) ocasionando efectos adversos sobre el bienestar de los animales, por tanto, el estrés por calor durante el transporte de cerdos en climas tropicales, es una de las principales preocupaciones de los productores (3). El intercambio de calor con el medio ambiente es un proceso clave para mantener la homeotermia en humanos y otros animales (4,5). Los cerdos tienen una capacidad limitada para mantener la temperatura corporal central en ambientes cálidos porque tienen pocas glándulas sudoríparas funcionales y una gruesa capa de tejido adiposo subcutáneo, que impide la disipación de calor en condiciones cálidas (6) lo que puede provocar estrés por calor o estrés por frío y, en casos extremos o prolongados, conlleva a la falla multiorgánica y la muerte (7). Así mismo, se ha prestado poca atención al estudio de los valores de temperatura y humedad durante el transporte de cerdos de ceba en climas tropicales y el efecto directo sobre el microclima del camión y la temperatura aparente percibida por los cerdos (8), en especial en camiones sin sistemas de control de ambiental y con ventilación pasiva o natural. Los camiones con ventilación pasiva cuentan con una estructura de caja metálica ligera montada en un chasis, que consta de aberturas rectangulares abiertas que se extienden a lo largo de los lados del vehículo. La ventilación pasiva se entrega a través de estas aberturas por medio del intercambio del aire entre el ambiente interno y la corriente de aire libre externa en virtud del movimiento del

vehículo. Este sistema permite la eliminación del calor, la humedad y el CO<sub>2</sub> para controlar el confort de los animales (9).

Independientemente de los factores que conducen a la variación de la temperatura y la humedad relativa entre los compartimentos del camión, los hallazgos de varios investigadores (7, 10,11) indican que las condiciones térmicas que experimentan los cerdos durante el transporte presentan variabilidad espacial dentro del camión y el microambiente, aspectos que pueden tenerse en cuenta al intentar medir los factores de estrés térmico experimentados por los cerdos durante el transporte (1). El enfoque de los índices térmicos en los animales está orientado a apoyar las decisiones gerenciales relacionadas con el desempeño, la salud y el bienestar (3), y por lo tanto, responden a la capacidad para hacer frente a los factores estresantes ambientales (dentro de los límites), mediante el ajuste fisiológico, conductual e inmunológico, para minimizar los efectos adversos (4) y mantener la homeostasis con pérdidas mínimas de rendimiento (12). En los casos en que los animales no logren hacer frente a los posibles factores estresantes porque exceden los umbrales, junto con una oportunidad limitada de recuperación, los animales se ven afectados negativamente, aspecto que se evidencia en las pérdidas por transporte (13,14), en la calidad de la carne (7), en el rendimiento de la canal y la seguridad alimentaria, teniendo en cuenta que la carne de cerdo y de aves, representa la mayor proporción de carne consumida en el mundo (12).

En general, se considera que el transporte de corta duración es más crítico que el realizado por periodos mayores a ocho horas, ya que los cerdos no tienen tiempo suficiente para recuperarse del estrés del embarque, lo que aumenta el riesgo de pérdidas de animales y carne de cerdo PSE (pálida, blanda, exudativa) (11). Existe literatura escasa que investiga el estrés por calor asociado

al transporte de cerdos comerciales de corta duración, realizado en camiones con ventilación pasiva en países tropicales, por lo cual, es importante comprender las condiciones del microclima del camión durante el transporte comercial y sus posibles implicaciones en el estrés térmico, las concentraciones sanguíneas de indicadores de estrés y los problemas de calidad de carne porcina. Esta información es prioritaria teniendo en cuenta que en América latina y otros países con similares condiciones climáticas y de logística del transporte, no cuentan con directrices propias para el aseguramiento de la calidad del transporte en lo referente al acondicionamiento de los camiones durante temperaturas extremas, de igual forma, la legislación sanitaria sobre bienestar animal durante el transporte está en proceso de actualización en muchos países y se requieren criterios propios para evaluar el diseño de los camiones de transporte, las zonas de confort térmico y las prácticas de manejo asociadas. Por lo anterior el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de los viajes de corta duración y la ubicación de los cerdos en los compartimentos de los camiones sobre las pérdidas en el transporte, el estrés térmico de los animales y la calidad de la carne.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.Objetivo general**

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de los viajes de corta duración y la ubicación de los cerdos de ceba en los compartimentos de un camión con ventilación pasiva sobre las respuestas fisiológicas y conductuales al estrés del transporte comercial y los cambios en el BA y la calidad de la carne

### **2.2.Objetivos específicos**

- Evaluar las condiciones del microclima del camión durante el transporte comercial y sus posibles implicaciones en el estrés térmico, las concentraciones sanguíneas de indicadores de estrés, indicadores fisiológicos, conductuales y su relación con el BA y la de calidad de la carne.
- Identificar la ubicación de los cerdos en el compartimiento del camión y sus implicaciones en el estrés térmico, las concentraciones sanguíneas de indicadores de estrés, indicadores fisiológicos, conductuales, y su relación con el BA y la de calidad de la carne.
- Evaluar el desembarque mediante indicadores conductuales y de Interacción Humano-Animal e identificar diferencias de acuerdo con el compartimento del camión donde son transportados los animales.
- Evaluar la relación del estrés térmico y los indicadores conductuales, fisiológicos, ambientales, de interacción hombre-animal en la cadena productiva e identificar los factores asociados con la mortalidad y la presencia de cerdos no ambulatorios durante el transporte comercial.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Biología y genética de los cerdos

Los cerdos son animales homeotermos, su piel se caracteriza por poseer una profunda capa de grasa subcutánea y por la ausencia de glándulas sudoríparas funcionales, por lo tanto, tienen una limitada capacidad para perder calor especialmente si es por evaporación haciéndolos más sensibles a las altas temperaturas (15,16). De igual modo, las temperaturas superiores a 25 °C alteran la respiración del animal, amenazando su vida como consecuencia del “choque de calor”, principalmente en razas genéticamente susceptibles (17). En los porcinos la producción de calor es influenciada principalmente por la ingesta de alimento, mientras que la pérdida de calor depende de diferentes mecanismos (convección, conducción, radiación) sujetos a la diferencia de temperatura entre la piel de los animales y el ambiente, además la principal forma de termorregulación es por el comportamiento (jadeo, búsqueda de sombra, revolcarse en el lodo para refrescarse, acostarse lateralmente sobre superficies más frías sin contacto físico con otros cerdos) (18). Por lo anterior la regulación de la temperatura es uno de los mecanismos más importantes para mantener la homeostasis de todo el organismo, siendo un buen indicador del estado de salud del cerdo, que se puede ver alterado por enfermedades, cambios fisiológicos, entre otras causas (19).

Se ha descrito que existe una predisposición genética al estrés presente en los porcinos portadores del alelo sensible en el gen RN- y el gen Halotano (n), principalmente en animales homocigotos (nn), que aumenta la susceptibilidad al estrés (20), principalmente en las razas Pietrain y Landrace (Belga y Alemana) (21,22). Producida por una mutación del gen n, en el gen receptor de la ryanidina porcina, localizado en la región p11-q21 del cromosoma 6, este

cromosoma es identificado mediante diferentes pruebas que van desde las no invasivas (halotano, electromiografía), hasta las invasivas (contractura con cafeína-halotano), medición del calcio libre en sarcoplasma, el test de la contractura in vitro con rianodina (23). En la actualidad se cuenta con la técnica molecular denominada PCR-RFLP, la cual es más sensible y de bajo costo (24). El gen RN- actúa incrementando el contenido de glucógeno en la fibra muscular “blanca”, la cual tiene un alto potencial glucolítico, resultando finalmente en un pH bajo (24)(25). Del mismo modo, el gen receptor de la ryanodina (Ryr1) es el responsable de desencadenar el “síndrome de estrés porcino” (SEP), causante de la hipertermia maligna, hiperpirexia, acidosis metabólica e incremento de la rigidez muscular en los cerdos (22,26) que conduce finalmente a la muerte (27–29). Este gen recesivo también produce una sensibilidad a la inhalación de anestésicos como el halotano, por lo cual la exposición a éste se utiliza como un método de diagnóstico del síndrome (24). El gen mutado presenta además penetrancia incompleta, lo que implica que en muchos casos un animal homocigoto para la mutación puede no expresar características fenotípicas del síndrome, y por consiguiente no presentar la sensibilidad al halotano y no ser detectado por este método de selección (30).

### **3.2. El estrés como indicador de Bienestar Animal (BA)**

El bienestar animal BA se puede definir como la capacidad de adaptación del animal al ambiente que le rodea (31). El BA incluye: estado físico, psicológico, sanitario, nutricional, factores genéticos y la capacidad de reacción al estrés fisiológico con una variedad de respuestas de comportamiento (31,32). El bienestar de los animales destinado a la producción se ha convertido en un intenso debate público entre defensores de los derechos de los animales, críticos, y



consumidores de carne (33). El impacto del BA en un proceso complejo de medir de manera objetiva siendo necesario evaluar indicadores etológicos, fisiológicos y productivos (32).

El estrés se ha utilizado como indicador de la pérdida de BA (34) y se define como el efecto de estímulos neurológicos y emocionales inducidos ambientalmente sobre los sistemas nervioso, endocrino, circulatorio y digestivo del animal, produciendo cambios mensurables en sus niveles funcionales de estos sistemas. En particular, se altera la homeostasis al provocar cambios en el funcionamiento del sistema nervioso autónomo y del eje hipotalámico-pituitario-suprarrenal (HPA) (35). Cuando la respuesta de un animal a un factor estresante amenaza literalmente su salud y su vida, se le llama "Diestrés" (36). Dependiendo de la duración y efecto del estímulo estresante en el animal, se puede clasificar en agudo (transitorio) o crónico (persistente) (37). Cuando el sistema nervioso central detecta una amenaza, genera una respuesta que consiste en una combinación de cuatro mecanismos de defensa biológica generales: conductual, del sistema nervioso autónomo, inmune y neuroendocrino. Aunque los cuatro sistemas de defensa biológica pueden usarse en animales para responder a factores estresantes, no pueden usarse para combatir todos los factores estresantes. La homeostasis se mantiene cuando sólo participan los dos primeros mecanismos. Pero, si intervienen los cuatro mecanismos de defensa, determinadas funciones biológicas (funciones inmunes, digestivas, entre otras) pueden verse alteradas negativamente y el animal corre grave peligro (diestrés) (32,37).

El sistema simpático suprarrenal (SS) y el HPA son importantes en las respuestas neuroendocrinas; la activación de ambos ejes depende del estresor que produce el estímulo (38). La activación del SS, también conocida como "síndrome de emergencia", prepara al cuerpo para

un peligro repentino y luego produce una respuesta rápida y de corta duración, lo que resulta en la activación de neuronas en el hipotálamo y la liberación de epinefrina y norepinefrina principalmente por la médula adrenal. En ese momento, el animal se prepara para luchar o huir, seguido de un aumento de la frecuencia cardíaca, vasoconstricción periférica, hiperglucemia, dilatación de las pupilas, hiperventilación y aumento del volumen sanguíneo (38). En el eje HPA, el hipotálamo estimula el Factor Liberador de Corticotropina (CRH) y la vasopresina, que actúan sobre la hipófisis anterior para estimular la liberación de la Hormona Adrenocorticotrópica (ACTH), que puede ingresar al torrente sanguíneo y activar la síntesis y secreción de glucocorticoides (GC), especialmente cortisol, de la corteza suprarrenal. Al mismo tiempo, se libera catecolaminas (epinefrina, norepinefrina y dopamina) de la glándula suprarrenal y hormonas tiroideas (37). Por sí solo, el cortisol aumenta la utilización de energía y la concentración de glucosa en sangre mediante proteólisis, lipólisis y gluconeogénesis en el hígado e inhibe la liberación de insulina (37,38). Esta compleja respuesta fisiológica implica un proceso de retroalimentación negativa que permite que el cortisol actúe sobre el hipotálamo y la hipófisis, reduciendo la producción de CRH y ACTH (38). En este nivel, el cuerpo intenta adaptarse o resistir la presencia de factores que percibe como una amenaza, el nivel de corticosteroides se normaliza y la condición de estrés desaparece, esta etapa se llama "resistencia o relajación" (32,39).

El estrés crónico consiste en un estado de activación fisiológica constante que se produce cuando el organismo experimenta estrés por diversos factores o se expone repetidamente al mismo estímulo estresante, durante el cual el sistema nervioso autónomo tiene pocas oportunidades de activar la respuesta de relajación. En este caso, el coste biológico de la sobreexposición a las

hormonas del estrés es suficiente para alterar la función biológica y provocar diestrés. El estrés crónico corresponde al estado de estimulación estresante a largo plazo de un animal, como un problema de salud grave que no ha sido resuelto satisfactoriamente, cuando la intensidad y duración del sufrimiento contribuyen a la gravedad de la respuesta del animal. Por tanto, el estrés crónico es una condición desadaptativa que puede asociarse a un deterioro directo del bienestar. Además, esta condición puede afectar la susceptibilidad a la enfermedad o contribuir a su progresión (32,37).

Aunque las respuestas al estrés son muy variables y dependen de la capacidad de respuesta del individuo, está claro que si el factor estresante está activo durante un período de tiempo más largo (transporte y ayuno prolongado), los efectos observados serán mayores independientemente de la respuesta del animal. Por lo tanto, cuanto mayor sea el tiempo de transporte y ayuno, mayor será la probabilidad de sufrir estrés, lo que afectará negativamente el BA y con ello la pérdida de peso de la canal, presencia de contusiones y los efectos negativos en la calidad de la carne (32, 39,40).

### **3.3. Biomarcadores sanguíneos de estrés**

Existe una variedad de indicadores sanguíneos que son de gran utilidad para medir la capacidad de respuesta de los animales ante el estrés agudo, los cuales validan las mediciones conductuales para la evaluación del BA. Estos biomarcadores otorgan una clara idea del estado de los animales respecto a la privación de alimentos, deshidratación, esfuerzo físico, estrés y liberación de catecolaminas (32,39).

### **3.3.1. Cortisol**

El cortisol es uno de los biomarcadores más utilizados para evaluar el estrés en los animales, debido a que la hormona adrenocortical es la que se libera en mayor proporción como respuesta a estímulos estresantes: aislamiento, restricción de movimiento, reagrupamiento, contacto con personal extraño y aumento de la Interacción Humano-Animal (41). La corteza cerebral percibe los estímulos amenazantes externos y activa los mecanismos de respuesta que producen la liberación de la CRH producida en el hipotálamo, la cual estimula la síntesis y secreción de ACTH,  $\beta$ -endorfinas,  $\beta$ -lipotropinas y hormona  $\alpha$ -melanocito-estimulante/ $\alpha$ -melanotropina(42). La corteza medular responde a la ACTH sintetizando y liberando glucocorticoides, especialmente cortisol (43).

La medición de los niveles basales de cortisol y sus cambios después de la exposición a un factor estresante son buenos biomarcadores para evaluar el estrés crónico. Sin embargo, se puede encontrar que aumenta durante el estrés agudo, lo que sugiere cambios antes y durante el estrés y se asocia con una mala adaptación, especialmente cuando falla la restauración de la homeostasis o después de un estrés repetido (32). Sin embargo, la interpretación de los niveles basales de cortisol se dificulta porque son afectados por múltiples factores: el ritmo circadiano (Mayor concentración en la mañana y menor en la tarde), la restricción de movimiento, la lactancia, el coito, interacción con otras hormonas y procesos infecciosos (37,44). Debido a que las concentraciones de cortisol son extremadamente variables, no se recomienda realizar comparaciones absolutas entre estudios, pero sí es posible determinar si ciertos procedimientos son muy poco estresantes o muy estresantes realizando mediciones antes y después de un manejo estresante en los mismos animales (45).

### **3.3.2. Hematocrito (VGA)**

El Volumen Celular Acumulado (VGA) o hematocrito es el porcentaje del volumen sanguíneo absorbido por las células (principalmente eritrocitos). El VGA permite evaluar los cambios en los electrolitos y fluidos, y es considerado un buen un indicador de estrés (32,42). El transporte, el ayuno y la ingesta baja de agua provocan un aumento del VGA debido al movimiento de los fluidos desde el compartimiento vascular y a la contracción esplénica durante el estrés, mediada por la actividad simpática o las catecolaminas circulantes, mientras que cuando el estrés es crónico el VGA puede estar disminuido (35). La relación entre la proteína total y la albúmina plasmática con el VGA se considera de gran importancia debido a que sirve para evaluar los niveles de hidratación, ya que la cantidad de proteínas totales y albúmina plasmáticas deben mostrar el mismo tipo de cambio si este se debe a la deshidratación y no a un efecto de la dieta (32).

### **3.3.3. Glucosa**

La gluconeogénesis hepática es estimulada por la acción de las catecolaminas (epinefrina y norepinefrina) y liberadas al torrente sanguíneo por las glándulas suprarrenales durante la primera respuesta al estrés, aumentando así la disponibilidad de glucosa plasmática (azúcar en sangre) en cuestión de minutos. Este proceso también lo producen el cortisol y hormonas específicas implicadas en la regulación de la glucosa, como el glucagón y la insulina (32). En respuesta al estrés, los niveles de cortisol activan la glucólisis y la gluconeogénesis hepática (46). Por todo lo anterior, la concentración de glucosa ha sido descrita como un buen indicador indirecto del estrés y del ayuno (47).

#### **3.3.4. Lactato**

El lactato es considerado un indicador de estrés, y está relacionado principalmente con las condiciones de manejo de los animales, y en especial con el ejercicio físico (48). Cuando el músculo esquelético realiza un esfuerzo exagerado, entra en un estado de hipoxia y se activa la vía anaerobia de la glicólisis interrumpiéndose la entrada del piruvato al ciclo de Krebs para la obtención de ATP; en cambio, el piruvato es reducido, formándose así el ácido láctico o lactato, el cual rápidamente satura el ciclo de Cori y se libera a la circulación sanguínea. Por lo anterior, la concentración plasmática de lactato es utilizada como indicador de actividad física, agotamiento y daño muscular durante el presacrificio, igualmente es un indicador de estrés agudo, ya que sus concentraciones plasmáticas aumentan debido a la liberación de catecolaminas que pueden inducir una rápida glicólisis y su excesiva producción (32).

#### **3.3.5. Relación neutrófilos: linfocitos (N: L) en el hemograma**

Los neutrófilos son fagocitos primarios que proliferan en la circulación como respuesta a infecciones, inflamaciones y al estrés. Así mismo, los linfocitos tienen una variedad de funciones inmunológicas, como la producción de inmunoglobulinas y la modulación de la respuesta inmune (Buckham et al., 2008). Estudios demuestran que existe una relación entre el hemograma y el nivel de glucocorticoides plasmáticos durante el estrés fisiológico (49), ya que estos últimos afectan los leucocitos y los neutrófilos en direcciones opuestas, es decir produciendo un incremento en el número y el porcentaje de neutrófilos (neutrofilia) y una reducción en los linfocitos (linfopenia o linfocitopenia) (50). Lo anterior se da porque como respuesta al incremento de los glucocorticoides durante el estrés, los linfocitos circulantes se adhieren a las células endoteliales que cubren las paredes de los vasos sanguíneos y, posteriormente, pasan de

la circulación a otros tejidos como los ganglios linfáticos, médula ósea, bazo y piel, donde son secuestrados, produciendo por lo tanto linfopenia. Mientras que por otro lado los glucocorticoides estimulan el flujo de neutrófilos desde la médula ósea hacia la sangre y atenúan el paso de estos hacia otros compartimentos, generando neutrofilia (51). Estos cambios aseguran que durante el estrés los diferentes tipos de células sean dirigidas a los tejidos donde se requieran (52), por lo que la mayoría de los investigadores usan la relación neutrófilos/linfocitos como una medida complementaria de la respuesta al estrés, siendo relacionado con la magnitud del estresor y con la concentración de glucocorticoides circulantes, incluso algunos autores reportan que este indicador es más confiable que la concentración de cortisol para medir el estrés en animales (32,53). En la tabla 1 se describe los valores de referencia de los biomarcadores sanguíneos de estrés en cerdos.

**Tabla 1. Valores de referencia de biomarcadores sanguíneos de estrés en cerdos**

<b>Variable</b>	<b>Rango</b>
Cortisol ( $\mu$ /dL)	2.6-3.3
Hematocrito (%)	32-50
Glucosa (mmol/L)	3.6-5.3
Lactato (mmol/L)	0-11 (54)
Proteína total (g/L)	19-24
Relación N/L	0.2- 0.7

Tabla tomada de Radostits et al., (55)

### **3.4. Estrés térmico en cerdos**

El estrés térmico se define como una condición donde un animal experimenta estrés, incomodidad y/o angustia cuando está expuesto a altas temperaturas, y puede incrementar cuando se asocia a una humedad alta (18), por sus características biológicas, los cerdos son incapaces de disipar el calor ambiental en exceso a través de mecanismos conductuales y fisiológicos, combinados con la producción de calor metabólico (56), lo cual impacta negativamente el BA, disminuye calidad de la carne y en ocasiones causa muertes durante el transporte (57).

Durante el estrés térmico se aumenta el flujo sanguíneo a la piel del cerdo lo que incrementa la temperatura superficial y la transferencia de calor hacia el ambiente por convección del aire (58,59). El estrés térmico de los cerdos es el resultado de la combinación de las características biológicas propias de la especie que dificultan la disipación de calor y los factores ambientales como la humedad y la temperatura ambiental, lo que produce un incremento en la temperatura corporal que estimula la frecuencia respiratoria y jadeo de los cerdos (60).

En general, la alta temperatura ambiental y la alta temperatura del aire que rodea al animal, impiden el comportamiento termorregulador necesario para mantener al cerdo en la zona termoneutral (ZTN)(18). La ZTN se puede definir como el rango de temperatura ambiental sin cambios regulatorios en la producción de calor metabólico o pérdida de calor por evaporación (61), esta depende de múltiples factores como: el tamaño del animal, línea genética, nutrición y condiciones ambientales (pérdida de calor hacia el suelo), velocidad del aire alrededor del cerdo, y de la actividad motora (estar de pie durante el transporte) (18). Estudios demuestran que,



durante el transporte para garantizar un buen BA, los cerdos de ceba que pesen entre 111-160 kg deben permanecer en una ZNT de 10-28 °C con una temperatura corporal de 38.6 a 39.3 °C (62,63). De igual manera la Zona de Confort Térmico (TCZ) es definida en términos de percepción, como el estado de ánimo que expresa satisfacción con el ambiente térmico y en términos de BA se describe como el intervalo de temperatura ambiental, donde los esfuerzos energéticos y fisiológicos de termorregulación son mínimos y el animal se encuentra en el ambiente térmico preferido o elegido (56).

El nivel de estrés térmico se puede medir o monitorear a partir de las respuestas fisiológicas, comportamentales y de rendimiento de los animales, así como también se pueden medir parámetros ambientales que influyen en el estrés térmico, como lo son, la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire (64). En las últimas décadas se han desarrollado múltiples índices para la evaluación de la temperatura ambiental, como lo son el índice de temperatura humedad, el cual ha sido el índice más utilizado para predecir en función de la temperatura y la humedad ambiental, la temperatura corporal de los cerdos (65).

### **3.5. Factores que causan estrés en los cerdos y su relación con la calidad de la carne**

Durante el presacrificio (embarque en las granjas de ceba, el transporte hacia las plantas de sacrificio, el desembarque y la estadía en la planta hasta el sacrificio (insensibilización y sangría), los porcinos son expuestos a múltiples condiciones asociadas a la privación de alimentos y agua, cambios ambientales, ruido, manejo brusco, impacto violento contra estructuras agudas de camiones e instalaciones, ruptura de su estructura social, encuentros antagónicos entre los animales, así como a las altas densidades de carga durante el transporte,

malas prácticas de conducción, condiciones geográficas adversas, (20,66), contacto con manejadores desconocidos, microclima del camión, entre otros factores (14).

La interacción Humano-Animal (IHA) es definida como el grado de contacto o evasión entre un animal y el hombre. Es un proceso dinámico que se encuentra basado en las relaciones positivas o negativas pasadas, y que a su vez influenciarán las interacciones futuras (67). Estas interacciones pueden clasificarse de acuerdo a su periodicidad como frecuente o escasa; de acuerdo al sentido por el que son percibidos por los animales como visuales, táctiles, olfatorias o auditivas; y de acuerdo a su calidad como negativa, caracterizada por miedo, evasión y estrés en presencia de las personas; neutral donde no hay signos de miedo ni de emociones positivas; o placentera, en la que el animal se encuentra tranquilo y confiado cerca de las personas (67–69). La IHA puede aumentar los niveles de cortisol y genera factores estresores que ocasionan pérdidas de peso, animales fatigados y deshidratación; aumentando la probabilidad de contusiones y lesiones y por ende repercutir en la calidad de la carne (41,70). Para evaluar la IHA y su relación con el bienestar animal existen indicadores que utilizan métodos directos e indirectos; los primeros evalúan variables conductuales y fisiológicas de los animales así como la condición física de éstos, mientras que los indicadores indirectos evalúan el ambiente o infraestructura en que se encuentran los animales, así como el manejo que reciben por parte de las personas en los lugares de producción, comercialización (ferias), transporte y plantas de sacrificio, por lo tanto la medición del BA debe estar basada en la combinación de varios indicadores de índole: fisiológico, sanitario, conductual y productivo (71). Los indicadores de bienestar animal se dividen en tres tipos: basados en el animal, basados en los recursos y basados en la gestión; los basados en el animal aportan información directa sobre el estado de bienestar y

son a cualquier tipo de producción, los basados en los recursos y en la gestión permiten identificar posibles causales de problemas de bienestar evidentes en los animales. Los indicadores pueden evaluarse a través de la observación directa en campo, entrevista con el ganadero, manejador o persona responsable del cuidado del animal, observación directa sobre una muestra de animales, y la revisión de documentos y registros (72).

Todos los factores estresores descritos anteriormente pueden tener impactos negativos no solo en el BA y en la fisiología de los cerdos (73), sino que también al provocar estrés, se da cambios de tipo metabólico y hormonal en el animal vivo, que producen efectos adversos en la calidad de la carne, específicamente en el pH, color, textura y la capacidad de retención de agua, así como disminuciones de peso, que se traducen en menor cantidad de carne producida, lesiones como hematomas de diverso grado y disminución de precio o categoría de las canales (32).

El pH y la temperatura muscular son los atributos más usados para evaluar la calidad sensorial de la carne porcina (74). Su importancia radica en que influyen en los cambios bioquímicos de la fibra muscular en el período post-mortem, facilitando la conversión de músculo a carne, proceso que involucra la desnaturalización proteica, proteólisis y oxidación lipídica (75). Estos factores, representan elementos claves relacionados con las pérdidas por goteo y la capacidad de retención de agua (CRA), ocasionadas por la desnaturalización de las proteínas (76). La CRA es una característica muy importante para la industria cárnica, porque define algunas de las características tecnológicas y organolépticas de la carne fresca porcina. Una carne fresca con una baja capacidad de retención de agua es menos jugosa y tiene menor aceptación por parte del consumidor (75). Así mismo algunos de los problemas de calidad más comunes en la industria

porcina, son las condiciones conocidas como carne pálida, suave y exudativa (PSE) y carne oscura, firme y seca (DFD). La condición PSE está relacionada con animales de mayor conformación muscular y más magros, que provienen generalmente de líneas genéticas más susceptibles al estrés (77).

### **3.6. Estrés durante el transporte de los cerdos**

El transporte terrestre hacia plantas de beneficio puede ser uno de los eventos más estresantes en la vida del cerdo (78), ya que los animales evidencian incomodidad física relacionada con la duración del viaje, el cambio frecuente de las condiciones ambientales, la imposibilidad de descanso, las densidades de carga no ajustadas al peso, la fatiga debido a los movimientos del vehículo, manejo, ruidos, olores desconocidos, el dolor derivado de resbalones o golpes sufridos, el embarque y desembarque inadecuado y a la restricción del consumo de agua (31,73,79); lo que conlleva a que los cerdos realicen diferentes adaptaciones fisiológicas y de comportamiento para enfrentar estos desafíos (11). En Latinoamérica los porcinos aún experimentan grandes episodios de estrés durante el transporte por hacinamiento, deshidratación, largas distancias, embarque y desembarque, vehículos e instalaciones inadecuadas, condiciones climáticas extremas, malas condiciones en las rutas, las cuales incrementan las condiciones de estrés y alteran el equilibrio en el animal, generando efectos negativos como peleas, heridas, marcas en la piel, traumatismos y caídas que incide en la presentación de carnes PSE y DFD (80,81). Por lo anterior el transporte terrestre de los cerdos destinados para el sacrificio y consumo humano debe ser realizado en camiones con ventilación adecuada, pisos antideslizantes con drenajes, paredes lisas sin ningún tipo de objeto o protuberancia que pueda generar traumatismos, y protección adecuada contra la exposición al sol, la lluvia y temperaturas extremas (82), además de contar con aspersores de agua y bebederos para mejorar el confort de los animales durante el viaje (57).

Igualmente se debe tener en cuenta que las características de diseño del camión usado durante el transporte (sistema de carga por rampas, sistema de carga por dispositivo hidráulico, control de microclima y tipo de piso) pueden tener un impacto en el bienestar de los cerdos (83), especialmente la presencia de rampas, ya que pueden facilitar el manejo de los cerdos durante el cargue y descargue, aspecto que evita la presencia de resbalones, caídas y estrés (84). Así mismo los camiones al estar divididos en compartimentos pueden tener diferentes microclimas que afectan la ventilación del compartimento(85), y dependiendo de la ubicación del animal en los compartimentos se puede ver afectada la calidad de carne y en el BA, ya que estos efectos se han asociado a la mala ventilación del compartimento y al esfuerzo físico necesario para mantenerse de pie con el fin de hacer frente a los impactos ocasionados por las vibraciones del suelo de los compartimentos durante el transporte (83). Es por eso por lo que la elección del camión durante el transporte no solo dependerá de las variables anteriores sino del tipo de animales, duración del viaje, región geográfica, demandas específicas del mercado y normativas de las entidades gubernamentales(86).

En Norte América los tipos de camiones usados para transportar cerdos varían ampliamente desde camiones equipados con un camión de un solo piso o plataforma, hasta camiones de 3 pisos conocidos como “pot-belly” los cuales permiten transportar en un solo viaje durante largas distancias, gran cantidad de cerdos (más de 200) distribuidos en (10 compartimentos)(84). El ganado porcino en Colombia es transportado en camiones con carrocerías simples (un piso) o dobles (dos pisos) o de tres pisos con sistemas de ventilación pasiva(29). Estos tipos de camiones han sido considerados como un factor de riesgo para la presencia de contusiones y de mortalidad, especialmente cuando son conducidos en camiones de dos o tres pisos, porque se incrementan la

manipulación y las densidades de carga (87,88). Igualmente, un bajo porcentaje de estos vehículos cuenta con cubierta hidráulica para facilitar el embarque y desembarque de animales (14), por lo que el embarque y desembarque realizado a través de rampas impone un gran esfuerzo para los cerdos, el cual puede aumentar debido a intervenciones negativas de los manejadores ocasionando mayor esfuerzo físico para cerdos y manipuladores (83,84).

### **3.7. Pérdidas durante el transporte**

Las pérdidas durante el transporte son el indicador más puntual de un BA ausente o deficiente (85) ya que son aquellas ocasionadas por la presencia de cerdos muertos a la llegada (DOAs) por sus siglas en inglés “*dead pigs on-arrival*” y de “cerdos no ambulatorios”, las cuales ocurren desde los sitios de ceba hasta la llegada a la planta de sacrificio (89), el concepto de “cerdos no ambulatorios” se refiere a aquellos cerdos incapaces de permanecer con sus congéneres debido a una lesión osteomuscular (cerdos lesionados o postrados) o fatiga (cerdos estresados) (29,90). Lo que genera impactos económicos negativos no solo por la pérdida de peso de los animales y los malos rendimientos en la canal por la presencia de cerdos no ambulatorios y de DOAs (73), sino porque tienen un impacto negativo en la percepción de los consumidores de productos animales lo que disminuye su aceptación(91).

Las pérdidas económicas en Gran Bretaña se calculan entre el 0.07% a 0.14%, en Estados Unidos entre 0.085% a 0.15% y Canadá entre 0.18% a 0.20% (59). En Colombia las pérdidas económicas para los productores debido a casos por DOAs son del 100% debido al decomiso durante la inspección veterinaria (92). En Estados Unidos aproximadamente de 30% de pérdidas económicas son por animales no ambulatorios, donde se requiere mayor trabajo para su manejo

humanitario en las plantas de beneficio, y si las autoridades sanitarias identifican un manejo cruento de estos animales se da la suspensión del establecimiento (85).

### **3.8. Factores que afectan el BA y la calidad de la carne durante el transporte de cerdos**

Existen diversos factores que se deben tener en cuenta durante el transporte que pueden predisponer a la presentación de carnes PSE y DFD no son deseables en términos comerciales debido a que afectan el BA, la inocuidad, la calidad y la vida útil de la carne, lo cual representa pérdidas importantes a la industria (93).

#### ***3.8.1. Densidad de Carga***

La densidad de carga puede definirse como la cantidad de cerdos por metro cuadrado en los compartimentos del camión durante el transporte, se ha reportado que altas densidades generan estrés debido a las dificultades de termorregulación en los cerdos, y se considera una de las principales causas de pérdidas durante el transporte (22). La legislación sanitaria colombiana reglamenta las necesidades mínimas de espacio para el transporte de cerdos, y determina 0,5 m<sup>2</sup>/animal para cerdos de 100 kg de peso y de 0,8 m<sup>2</sup>/animal, para animales adultos (94). Se ha descrito que las altas densidades pueden afectar la temperatura corporal de los cerdos, la tasa cardíaca, la frecuencia respiratoria y en los casos en que se presenta sobrecarga, puede asociarse con mayores tasas de mortalidad durante el transporte (95). El gasto adicional de energía se traduce en alteraciones del pH en la carne y alteraciones en la calidad; por el contrario, cuando los cerdos son transportados a densidades muy bajas, cuentan con mayor disponibilidad de espacio lo cual favorece la presentación de las caídas y las colisiones de los cerdos contra la carrocería del camión y entre los con específicos (87). Así mismo, estudios reportaron los efectos

de diferentes densidades (0.31 m<sup>2</sup>/100 kg alta; 0.35 m<sup>2</sup>/100 kg media, y 0.39 m<sup>2</sup>/100 kg baja) y el tiempo de transporte, sobre el comportamiento animal, la calidad de carne y enzimas asociadas al estrés (glucosa oxidasa, lactato deshidrogenasa y creatina cinasa), concluyendo que las mayores concentraciones de enzimas las tuvieron los cerdos transportados a una alta densidad, factor que influye sobre el BA y predispone a la presentación de carnes PSE(96).

### ***3.8.2. Duración del Transporte***

Esta es otra variable crítica que aumenta las contusiones cutáneas, la mortalidad animal y afectan la calidad de la carne. Se ha observado que las contusiones cutáneas de los cerdos se incrementan en la medida que aumenta el tiempo de transporte y pueden llegar a duplicarse durante las últimas 6 a 8 h de viaje (87,97). Investigaciones también asocian la duración del viaje y la distancia recorrida con la calidad de la carne ya que se encontró que las distancias superiores a 100 km disminuyen el peso vivo de los cerdos en la planta de sacrificio, hasta en 6 kg y una reducción de 1,05 % en el rendimiento en canal; frente a los cerdos transportados durante 50 km, que demostraron mejores valores en la calidad instrumental de la carne, relacionados con una mayor CRA y unos valores óptimos de pH (48).

### ***3.8.3. Velocidad del Camión***

La velocidad del camión es considerada un factor de riesgo para la aparición de las contusiones cutáneas. Los movimientos bruscos del camión se pueden relacionar con la topografía montañosa de las áreas geográficas, produciendo caídas y colisiones, por lo que se recomienda conducir a velocidades no superiores de los 60 Km/hora (32), porque las aceleraciones aumentan la



frecuencia cardíaca de los cerdos y produce vibraciones de baja frecuencia, condiciones poco confortables para los animales (98). Es conveniente que durante los primeros 15 a 20 min de viaje, los conductores conduzcan a bajas velocidades, para que los animales se habitúen a los movimientos del vehículo (32).

#### ***3.8.4. Microclima del Camión***

El microclima corresponde a condiciones ambientales que influyen en la carga de calor que perciben los animales dentro del camión en el cual se transportan (89). Estas condiciones no solo se refieren a la temperatura ambiente y la Humedad Relativa (HR), sino también a radiación térmica, radiación solar, incluida la radiación de onda larga y corta, temperatura de las superficies circundantes, el calor y la humedad generados por los animales, la pérdida de calor del vehículo, el espacio vertical, la ubicación de las divisiones de los compartimentos a lo largo del eje longitudinal del vehículo, el tipo de vehículo, el tipo de persianas de ventilación, la velocidad del viento, la posibilidad de que los cerdos se humedezcan la piel, entre otros. Sin embargo, debido a la complejidad de medir dichos parámetros, así como a la fuerte evidencia del efecto de la humedad sobre el estrés por calor, se utiliza en más frecuencia los efectos combinados de la temperatura y la humedad cuando se evalúa el BA durante el transporte (56). Igualmente el microclima puede ser influenciado por las superficies del camión alrededor de los cerdos, movimiento del camión, la cantidad y el tipo de material de cama usado durante el transporte(99); así mismo puede afectar negativamente los métodos y la velocidad en la que un animal transfiere calor hacia el ambiente, aumentando el estrés experimentado por este (100), por lo anterior el microclima es asociado a pérdidas durante el transporte con igual o mayor impacto a las relacionadas con temperaturas y HR ambientales (59). Sin embargo, en Colombia Existen

pocos estudios que relacionan el microclima del camión y su efecto sobre el BA y la calidad en la carne (29).

### **3.9. Factores que determinan el microclima en los compartimientos del camión**

Los principales factores determinantes del microclima de los compartimientos del camión son: las condiciones climáticas externas, la ventilación, patrones de flujo de aire interno y la producción total de calor y humedad de los animales (101).

#### ***3.9.1. Condiciones climáticas externas***

Los cerdos son afectados por temperaturas ambientales elevadas debido a su elevada producción de calor metabólico basal (102). En los vehículos equipados con ventilación natural y mecánica, el principal determinante de las condiciones microclimáticas en el interior son las condiciones climáticas exteriores, por lo que las condiciones ambientales experimentadas por los cerdos durante el transporte son fundamentales para comprender los efectos generales del transporte sobre el estrés térmico de los animales (56,99). La temperatura y la humedad fuera del vehículo dictan la temperatura y la humedad del aire que entra al vehículo a través de las salidas de aire. En ausencia de aire acondicionado, la temperatura efectiva en el vehículo nunca podrá ser inferior a la del exterior. La radiación solar también puede desempeñar un papel importante al calentar el vehículo por encima de las temperaturas efectivas observadas en el exterior(56).

La temperatura ambiental alta combinada con la humedad alta, se considera la principal condición ambiental, asociada a pérdidas durante el transporte hacia la planta de sacrificio (59). Los cerdos en el transporte no deben ser sometidos a temperaturas superiores a 30 °C, y

nunca superiores a 35 °C (103). Se estima que la zona de confort térmico para cerdos de 100 kg es de  $20 \pm 2$  °C (104). Sin embargo, se ha prestado poca atención a los valores de humedad durante el transporte, los cuales pueden cambiar más drásticamente que la temperatura, teniendo un efecto directo sobre la entalpía y la temperatura aparente percibida por los animales (105). Los cerdos pueden tener pérdidas de calor y fluidos durante el transporte, las cuales están condicionadas por la temperatura dentro y fuera del camión, una posible explicación está relacionada con la entalpía (86,103).

### ***3.9.2. Temperatura y HR***

El contenido de vapor de agua del aire es importante porque afecta la tasa de pérdida de calor por evaporación a través de la piel y el tracto respiratorio. Sin embargo, cuando la temperatura ambiente está por encima de la TCZ del animal, un alto nivel de humedad en el aire reducirá la pérdida de calor por evaporación y, por lo tanto, aumentará el riesgo de estrés por calor. Por lo general el vapor de agua del aire se es evaluado mediante la HR, que es una medida del porcentaje de saturación del aire con vapor de agua a una temperatura específica en relación con el vapor de agua máximo que el aire podría contener potencialmente a esa temperatura (56).

Existen varios índices para predecir condiciones ambientales estresantes basado en la temperatura ambiente y la humedad relativa como lo es el índice de temperatura-humedad (THI) que ha sido utilizado para monitorear, cuantificar y reducir las pérdidas de producción relacionadas con el estrés por calor (56) Estudios demuestran que los cerdos se sienten más cómodos con un THI inferior a 75 °C(103). Otro índice es el de la entalpía específica del aire que utiliza principios psicrométricos (relacionados con la humedad y la temperatura del aire) como

indicadores de BA no invasivos durante el transporte, ya que la entalpía se describe como la energía térmica del aire que rodea al animal y dicta el grado de pérdida de calor al medio ambiente, por lo que es más sensible que los valores de temperatura o HR. Sin embargo, debido a que existen pocos estudios experimentales es poco utilizada (56,103).

### ***3.9.3. Ventilación y flujo de aire***

La ventilación funciona para reemplazar el calor metabólico y la humedad producidos por los animales dentro del vehículo con el aire de cierta humedad y temperatura del exterior del vehículo, así como para mezclar y redistribuir el aire interior para intentar hacer más homogéneo el microambiente térmico interno, igualmente la ventilación del vehículo puede modular las concentraciones de diferentes gases (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>)(56).

La ventilación pasiva es el flujo de aire que entra y sale de los respiraderos laterales del camión (29). El flujo de aire es impulsado por las diferencias de presión alrededor del camión a medida que se mueve, creando diferencias entre las condiciones internas del camión y las condiciones ambientales (106). La principal dificultad de la ventilación pasiva se debe a la variabilidad de las condiciones climáticas ambientales, la velocidad de desplazamiento y el diseño del camión, así como la relación no lineal entre el flujo de aire a través de las aberturas y la eficiencia de la ventilación a nivel de los animales(101), ya que en un vehículo con ventilación pasiva la entrada de aire es hacia la parte trasera por lo que el flujo de aire sobre la superficie del vehículo en movimiento produce un gradiente de presión en el que hay una presión menor hacia los lados delanteros del vehículo que en los lados traseros y la cola, dando como resultado una distribución desigual de las condiciones térmicas dentro de la carga (56). La ventilación mecánica es el flujo suficiente de aire dentro del camión generada por ventiladores, lo que proporciona un microclima

más consistente y predecible que el generado por la ventilación natural durante el movimiento del camión y durante los periodos estacionarios (101). Por lo que el diseño de los vehículos y las capacidades de ventilación deben permitir que los animales sean transportados de forma segura dentro de los rangos de temperatura requeridos, dependiendo de las condiciones climáticas locales por las que viajará el vehículo (56), ya que los vehículos al contar con ventilación mecánica se mejora el flujo de aire y el enfriamiento por evaporación en compartimentos que experimentan mayores aumentos de temperatura y humedad relativa(1).

#### ***3.9.4. Ubicación de los animales dentro de los compartimientos del camión***

Diversos estudios hablan sobre las alteraciones de las variables anteriormente mencionadas y la ubicación de los cerdos en los compartimientos del camión. Donde ensayos han demostrado que al evaluar el microclima del camión durante el transporte de cerdos existe diferencia entre las temperaturas ambiental y la de los compartimientos ya que se observó que antes de iniciar el viaje, la temperatura promedio de los compartimientos era mayor que la temperatura ambiental y que durante el viaje la temperatura de los compartimientos disminuía debido a la velocidad del aire por lo que se concluye que la velocidad del aire fue altamente correlacionada con la velocidad del camión, incluso durante el embarque se registraron las temperaturas más bajas, mientras que las temperaturas más altas se registraron en el desembarque. Además, se determinó que los compartimientos delanteros y de la plataforma superior del camión tuvieron mayores temperaturas en comparación con otros compartimientos durante el transporte, lo que se asoció a dimensiones del compartimento, trayectoria y dinámica del flujo de aire alrededor del camión. Los niveles de dióxido de carbono fueron más altos en los compartimientos frontales del camión, debido posiblemente al flujo de aire que entró por la parte trasera del camión y salió por la parte delantera del mismo. Con respecto a la HR hallaron poca diferencia entre compartimentos,

manifestando que la HR no es un indicador completo de la presión de vapor de agua por sí mismo, debido a que disminuye a medida que aumenta la temperatura (99).

Así mismo autores en Canadá evaluaron en condiciones climáticas extremas los compartimientos dentro de los camiones y entre diferentes tipos de vehículo, encontrando que existen variaciones según el tipo de camión y ubicación de los animales, ya que la temperatura y HR fueron generalmente mayores en los compartimentos delanteros inferiores y en los compartimentos traseros superiores tanto en verano como en invierno y que se requieren de mejores tecnologías de monitoreo para ayudar a manejar los cambios en el microclima del camión, y así mejorar el BA y la calidad de la carne(57).

Investigaciones también identificaron que los cerdos transportados en los compartimentos del piso inferior del camión son más susceptibles a sufrir estrés térmico debido a la dinámica del flujo del aire, mientras que los cerdos transportados en los compartimentos superiores del camión son más susceptibles al estrés físico y agotamiento muscular, posiblemente ocasionado por la exposición solar (camión sin carpa) y las vibraciones del camión. Los cerdos ubicados en los compartimentos superiores tuvieron promedios más altos de temperatura corporal y de lactato en sangre comparado con los compartimentos inferiores. A su vez, los cerdos de los compartimentos inferiores presentaron mayores valores de temperatura rectal, y de cortisol salival (stress); frecuencia respiratoria (lo que sugiere mayor demanda de mecanismos fisiológicos para mantener la temperatura central)(3).

Goldhawk et al. (106) evaluaron las condiciones internas de temperatura y humedad en compartimientos de camiones tipo *pot belly* y su relación con la pérdida de peso, el cortisol y morbilidad durante el transporte de bovinos sin encontrar diferencias, pero si reportaron diferencias de 1°C entre la relación temperatura y humedad dentro de los compartimientos siendo mayor que las condiciones ambientales especialmente en viajes por fuera de la carretera, en períodos donde el vehículo estaba estacionado que en movimiento y durante el invierno que en verano.

En el estudio de McGlone et al. (107) se evaluó el efecto del nivel de la cama en el camión sobre la temperatura interna del vehículo y la HR y su influencia sobre el rendimiento económico del cerdo y el BA durante el transporte hacia plantas de beneficio en Estados Unidos, observando que la temperatura y la HR aumentaron de forma directamente proporcional en los compartimientos con mayor material de cama y en especial en los compartimientos superiores, asimismo el exceso de material retuvo mayor humedad tanto en temperaturas ambientales frías como templadas afectando el confort térmico de los cerdos, los autores concluyen que el exceso de material de cama puede absorber más humedad, lo que provoca pérdidas en el transporte y una disminución del BA, además calculan que representa \$4 millones por año en gastos adicionales.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Declaración ética**

La planta de sacrificio cumple con el (Decreto 1500 de 2007) (108) con el cual se crea el Sistema Oficial de inspección, Vigilancia y Control de la carne y productos cárnicos y los requisitos sanitarios y de seguridad para la producción primaria, sacrificio, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, importación y exportación de carne y productos cárnicos. Los animales fueron transportados y sacrificados cumpliendo con las Normas nacionales aplicadas en investigación y sacrificio comercial (108). El presente estudio fue aprobado por el Comité de Ética en Experimentación Animal de la Universidad de Caldas (- Actividades de mínimo riesgo-).

### **4.2. Localización**

El estudio se llevó a cabo en una granja porcina comercial de ceba ubicada en el municipio de Risaralda (Caldas, Colombia) 5°09'50"N 75°46'02"O con una altitud de 1713 m s. n. m., una temperatura promedio de 18 °C y con una humedad relativa promedio de 78 – 84%. La planta de sacrificio comercial se encuentra ubicada en Manizales (Caldas, Colombia) 5°03'58"N 75°29'05"O con una altitud de 2153 m s. n. m., una temperatura promedio de 16 °C y con una humedad relativa promedio de 77 – 83%.

### **4.3. Tipo de estudio y Animales**

Se diseñó un estudio factorial de 2x4x4 (camión de dos pisos con cuatro compartimientos y con cuatro repeticiones (viajes)) bajo condiciones comerciales controladas para evaluar el efecto de la ubicación de los animales en el camión y la duración de los viajes en cerdos de ceba bajo



condiciones comerciales procedentes de una misma granja, desde su embarque hasta su período de sacrificio, sin ninguna intervención o asistencia durante las operaciones en la planta de sacrificio. Los cerdos (n= 216) estaban inmunocastrados y tenían un peso de promedio  $116.1 \pm 7.52$  kg con un genotipo comercial estándar que carecían del gen Halotano provenientes de líneas genéticas terminales de verracos PIC®337 Top y hembras Camborough®29.

#### **4.4. Manejo en granjas y planta de sacrificio**

En la granja los animales fueron alojados en grupos de 10 a 12 animales por corral (densidad de carga,  $1\text{m}^2/\text{cerdo}$ , equivalente a  $88\text{ kg/m}^2$ ) y fueron alimentados con una dieta comercial estándar. Luego de su salida de la granja, los cerdos fueron transportados bajo las mismas condiciones de clima, ruta, camión, conductor, transporte y manejo hasta la planta de sacrificio comercial con una capacidad diaria de 350 cerdos por día. Los porcinos fueron embarcados y desembarcados por personal contratado por la granja y la planta de sacrificio, el conductor y los manejadores durante el embarque y el desembarque fueron los mismos en todos los viajes.

Los animales permanecieron en grupos familiares durante el transporte y la estabulación en la planta de sacrificio. El transporte hacia la planta de sacrificio fue cuidadoso, al llegar los cerdos fueron desembarcados mediante una rampa metálica antideslizante de pendiente regulable (8 m de longitud) y ubicados en corrales de espera ( $4.30 \times 1.80$  m), siguiendo la misma distribución que en el camión, y manejados con cuidado durante el período previo al sacrificio, utilizando únicamente paletas en el desembarque y en la estabulación. En los corrales de espera los animales se mantuvieron sin mezcla de grupos y tuvieron acceso de agua *ad libitum* a través de bebederos tipo *nipple*, al final del período, los porcinos fueron conducidos a un cajón de aturrido

eléctrico de dos puntos y se sujetaron en una caja para un solo animal, donde fueron aturdidos eléctricamente en la cabeza utilizando 250 V y 1.3 A por tres segundos. Después del aturdimiento, los cerdos pasaron a una banda horizontal donde se practicó el desangrado. El intervalo entre el aturdimiento y el sangrado fue de cinco segundos aproximadamente. Las canales se colocaron en una máquina depiladora durante cinco minutos y el pelo restante se eliminó después de salir de está utilizando un cuchillo y una llama. Las canales se evisceraron y dividieron antes de refrigerarlas a 4 °C durante 24 h.

#### **4.5. Transporte**

Se monitorearon 4 viajes entre los meses de abril - junio del 2022 en horas de la mañana a una distancia de 51.6 km por carretera pavimentada con un tiempo de transporte de 2 horas. En cada trayecto se transportaron un total de 54 cerdos, mediante un camión de dos pisos con cuatro compartimentos (piso superior e inferior) (*Figura 1*) con una densidad de transporte de 0.57 ( $\pm 0.04$ ) m<sup>2</sup>/100 kg, distribuidos así: 12 en los compartimentos 1 y 3 y 15 en los compartimentos 2 y 4. Los compartimentos no estaban equipados con ventilación controlada (sino con sistema de ventilación pasiva) ni ropa de cama, ni sistema de suministro de agua. Durante el embarque, los cerdos fueron humedecidos con una manguera, una práctica estándar en las regiones tropicales, cuyo objetivo es reducir los impactos del estrés por calor (8). El embarque iniciaba a las 06:00h y el orden del embarque se realizó según prácticas comerciales.



**Figura 1.** Esquema de los cuatro compartimentos del camión donde se localizaron los cerdos durante el experimento (C1-C4).

#### 4.6. Monitoreo ambiental

La temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y la humedad relativa (%) dentro del camión se midió desde el embarque en la granja hasta el desembarque en la planta de sacrificio, mediante el uso de un registrador de datos *Datalogger* (Onset, U23-001A HOBO Pro v2, Massachusetts, EE. UU.) Por compartimento. Estos sensores se instalaron y retiraron antes y después de cada viaje y eran capaces de registrar temperaturas dentro de un rango de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$  (con una precisión de  $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$ ) y niveles de humedad relativa de 0% a 100% (con una precisión de  $\pm 2,5\%$ ), como describe el estudio de Villarroel et al. (103). Antes de cargar el camión, los *Datalogger* se colocaron estratégicamente en las puertas divisorias entre los corrales situados en la cubierta central, a la altura de los cerdos (aproximadamente 450 mm sobre el suelo). Para proteger estos registradores de datos del contacto directo y posibles daños por parte de los cerdos, se encerraron dentro de una estructura de acero perforada; Además cada *Datalogger* se programó antes de iniciar cada viaje para registrar datos a intervalos regulares de 5 minutos.

Las condiciones microclimáticas dentro de los compartimentos se evaluaron exhaustivamente mediante el THI, que se determinó mediante la ecuación específica(11).

$$THI = \{T - [0.55 - (0.0055 HR)]\} [(1.8 T) - 26]$$

Donde T = Temperatura en °C

HR =Humedad Relativa en porcentaje (%)

En esta investigación se utilizó el THI para clasificar las ocurrencias del Índice de Seguridad y Clima del Ganado (LWSI), los cuales se categorizan en cuatro categorías: normal ( $THI \leq 74$ ), alerta ( $75 \leq THI \leq 78$ ), peligro ( $79 \leq THI \leq 83$ ) y emergencia ( $THI \geq 84$ )(Xingú et al., 2015a).

Los datos ambientales durante los viajes fueron tomados del Instituto Nacional de Meteorología de Colombia IDEAM (109) y de la plataforma nacional de datos abiertos Colombia (110).

#### **4.7. Comportamiento durante el desembarque**

En la planta de sacrificio, los cerdos fueron descargados del camión de a un compartimento a la vez, luego se dirigieron a corrales de espera, donde se separaron y clasificaron según los compartimentos de la cubierta superior e inferior del camión. Durante este proceso, un observador capacitado documentó meticulosamente el comportamiento de los cerdos y sus interacciones con los humanos. La observación comenzó en un punto de partida predeterminado desde la apertura de la puerta del camión hasta la llegada al corral de observación en la planta de

sacrificio, cubriendo una distancia total de 15 metros, como se detalla en el estudio de Weschenfelder et al., (11).

Los eventos de comportamiento específicos registrados incluyeron:

- a) Resbalón/Caída: Cuando los miembros anteriores o posteriores del cerdo se separa de los demás, o cuando el cerdo cae al suelo.
- b) Movimiento hacia atrás: Cuando el cerdo se mueve en la dirección deseada, pero con su cuerpo orientado en la dirección opuesta.
- c) Traslape: Cuando la cabeza del cerdo pasa por debajo del cuerpo de otro cerdo.
- d) Superposición: Cuando el cerdo monta a otro cerdo, con sus miembros torácicos colocados sobre el tren posterior del otro cerdo.
- e) Rechazar: Cuando el cerdo se niega a caminar o se detiene por más de 2 segundos.
- f) Vocalización: Casos de vocalización de los cerdos durante el embarque y desembarque, cualquier chillido producido por el cerdo que no incluyera gruñidos.

El tiempo de desembarque se definió como el tiempo transcurrido desde que se abrió la puerta del camión para liberar a los animales hasta que el último animal ingresó a la zona de espera de la planta de sacrificio. Además, se registraron las frecuencias de las interacciones entre humanos y animales, que abarcan:

- a) Hablar/silbar: Los guías usaban sus voces o silbaban para alentar el movimiento hacia adelante de uno o un grupo de cerdos.
- b) Aplaudir: Los guías usaban sus manos para aplaudir y mover a los animales.

- c) Bloqueo: Los guías se situaron delante de los animales y levantaron las manos para impedir su movimiento.
- d) Ruidos artificiales: Los manipuladores hacían ruidos agitando cascabeles metálicos y golpeando los accesorios de los corrales.
- e) Intervención física: Los manipuladores utilizaron sus manos, paletas o tablas para facilitar el movimiento hacia adelante de uno o un grupo de cerdos.

El tiempo total de cada tramo de embarque/desembarque se midió meticulosamente mediante un cronómetro. También se evaluó el comportamiento exhibido por los cerdos mediante un etograma.

#### **4.8. Identificación de cerdos no ambulatorios y muertos**

Los cerdos no ambulatorios (NAI), según lo definido por Dalla Costa et al., (13) y Ritter et al., (111), eran aquellos cerdos que no podían quedarse con sus congéneres y no podían moverse libremente debido a lesiones musculares o óseas, fracturas que ocurrieron en algún momento durante los procesos de transporte, desembarque o estabulación. Los cerdos no ambulatorios pero no lesionados (NANI) fueron descritos como cerdos sin lesiones, traumatismos o enfermedades aparentes, pero que exhibían signos físicos de estrés. Estos indicadores de estrés incluían síntomas como dificultad para respirar (disnea), manchas rojas o decoloración de la piel, vocalizaciones agudas distintivas y temblores musculares, como lo describe Pilcher et al., (112).

En cumplimiento de las normas sanitarias colombianas establecidas por el Ministerio de la Protección Social de Colombia en 2013(113), los cerdos NAI fueron rápidamente dirigidos a un sacrificio de emergencia en una sala sanitaria designada para este. Por otro lado, los cerdos NANI fueron trasladados a un corral de observación, donde un veterinario capacitado realizó una segunda inspección antemortem. Los cerdos que mostraban signos de posible recuperación podían ser sacrificados. A su llegada a la planta de sacrificio, los cerdos muertos DOAs eran inmediatamente registrados y sometidos a decomiso total.

#### **4.9. Indicadores de bienestar fisiológicos**

El estudio incorporó indicadores fisiológicos para evaluar el estrés térmico, que incluían la temperatura de la piel (°C) y una puntuación de jadeo que oscilaba de 0 a 3, donde 0: animal con la boca cerrada y respiración normal, 1: animal con la boca cerrada y respiración rápida, 2: boca abierta con respiración rápida y 3: boca abierta con respiración rápida y salivación. Estas mediciones se tomaron 10 minutos previos al embarque en la granja y 10 min después del desembarque en la planta de sacrificio. La temperatura de la piel se midió utilizando un termómetro infrarrojo digital (testo 830-T2-) en la zona del hombro de los animales a 15 cm de distancia.

##### ***4.9.1. Biomarcadores de estrés***

Se recolectaron 10 ml de sangre de cada animal durante el desangrado en dos tubos BD Vacutainer (Franklin Lakes, N.J.) uno con EDTA y otro sin anticoagulante; las muestras se mantuvieron en hielo durante el período de muestreo, que no excedió las 2 horas, y luego se transportaron al laboratorio para su posterior análisis.

Los niveles del volumen de células empaquetadas (PCV) fueron determinados por medio de la técnica del microhematocrito. Las concentraciones de cortisol sérico ( $\mu\text{g/dL}$ ) se midieron por duplicado utilizando un Kit de radioinmunoensayo (RIA) (Clinical Assays Gamma Coat Cortisol 125I RIA Kit, Dia Sorin, Minnesota, USA), con un coeficiente de variación Inter ensayo de 9,31%. Las concentraciones de glucosa ( $\text{mmol/L}$ ) y proteína total ( $\text{g/L}$ ) se determinaron utilizando un kit Biosystem (Biosystems®, Barcelona, España) y un espectrofotómetro BTS-330 (Biosystems®, Barcelona, España). Las concentraciones de lactato ( $\text{mmol/L}$ ) se evaluaron con kits Randox (Randox Laboratories Limited®, Crumlin, Reino Unido) y el mismo espectrofotómetro BTS-330 (Biosystems®, Barcelona, España).

#### **4.10. pH y temperatura de la canal**

Para determinar el pH y la temperatura de la canal a los 45 minutos post mortem ( $\text{pH}_{45}$  y  $T_{45}$ ), se utilizó un medidor de pH portátil (pH/mV/temperatura) equipado con un electrodo penetrable (IQ150, I. Q. Scientific Instruments, Loveland/Colorado). El proceso de medición implicó insertar el electrodo en una pequeña incisión realizada en el lado derecho del *longissimus dorsi* (LM) de la canal, situada al nivel de la 3ª/4ª última costilla. Para garantizar lecturas precisas, el medidor de pH se recalibró cada cinco muestras. Esta recalibración se llevó a cabo utilizando dos soluciones de tampón estándar a pH 7.0 y 4.0, todas realizadas a temperatura ambiente (aproximadamente 5 °C).



#### **4.11. Análisis estadístico**

Los análisis de datos se realizaron utilizando el software STATA, versión 13.0 (College Station, Texas, UE). En este estudio, la unidad experimental fue el grupo de cerdos de cada compartimento. En primer lugar, se realizó una prueba de normalidad de las variables evaluadas y las variables con distribución no normal se transformaron mediante el logaritmo natural y estos valores se utilizaron para su posterior análisis estadístico. Los efectos replicados debido al día de transporte no fueron significativos y por lo tanto se omitieron del modelo estadístico final. Se compararon las medias de mínimos cuadrados de los indicadores del microclima del camión (temperatura, humedad relativa), fisiológicos y de calidad de la carne (variables dependientes), mediante análisis ANOVA de una vía según los compartimentos (variable independiente) y la prueba de Tukey para determinar si existían diferencias significativas. Entre los cuatro compartimentos evaluados. Las variables categóricas (datos de comportamiento, clasificación de la carne y cerdos muertos y no ambulatorios por compartimento) se sometieron a un análisis estadístico descriptivo. Se eligió un nivel de probabilidad de  $P < 0.05$  como límite de significación estadística en todas las pruebas. Mientras que las medias con niveles de probabilidad de  $P \leq 0.10$  se consideraron tendencia.

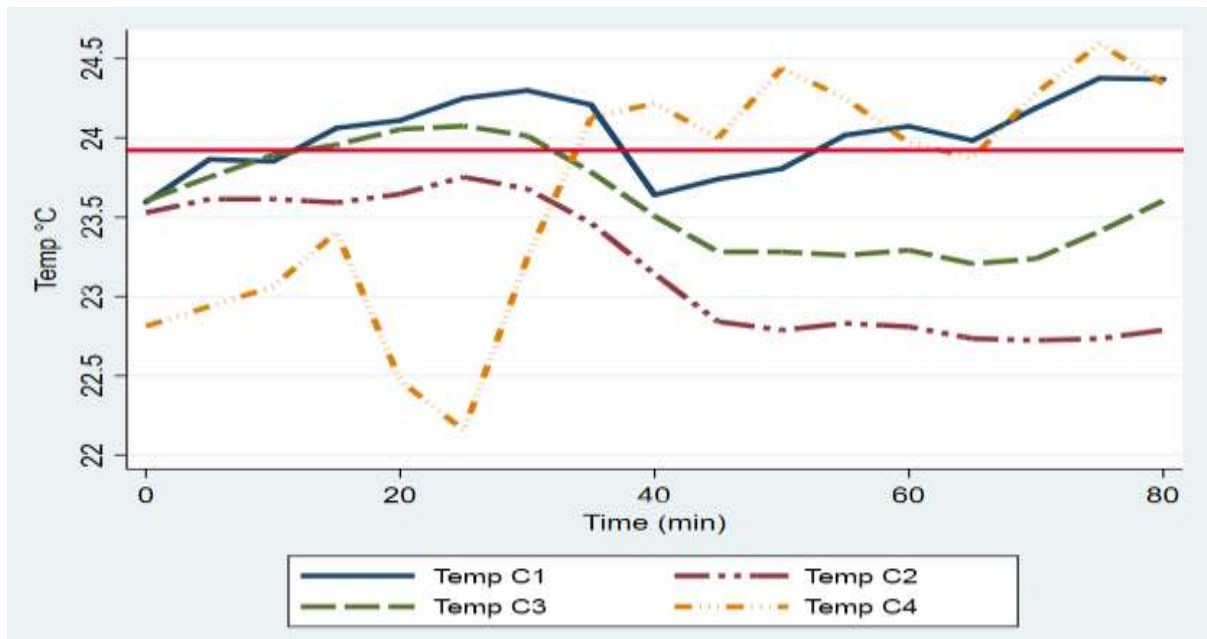
## 5. RESULTADOS

### 5.1. Microclima durante el transporte

Al analizar los datos ambientales de los viajes durante el tiempo que duro el estudio se reportó en promedio: una radiación solar diaria de 4.027 wh/m<sup>2</sup>, una temperatura ambiente de 17.31°C, una humedad relativa de 84.3% y una presión atmosférica de 772.6 HPa.

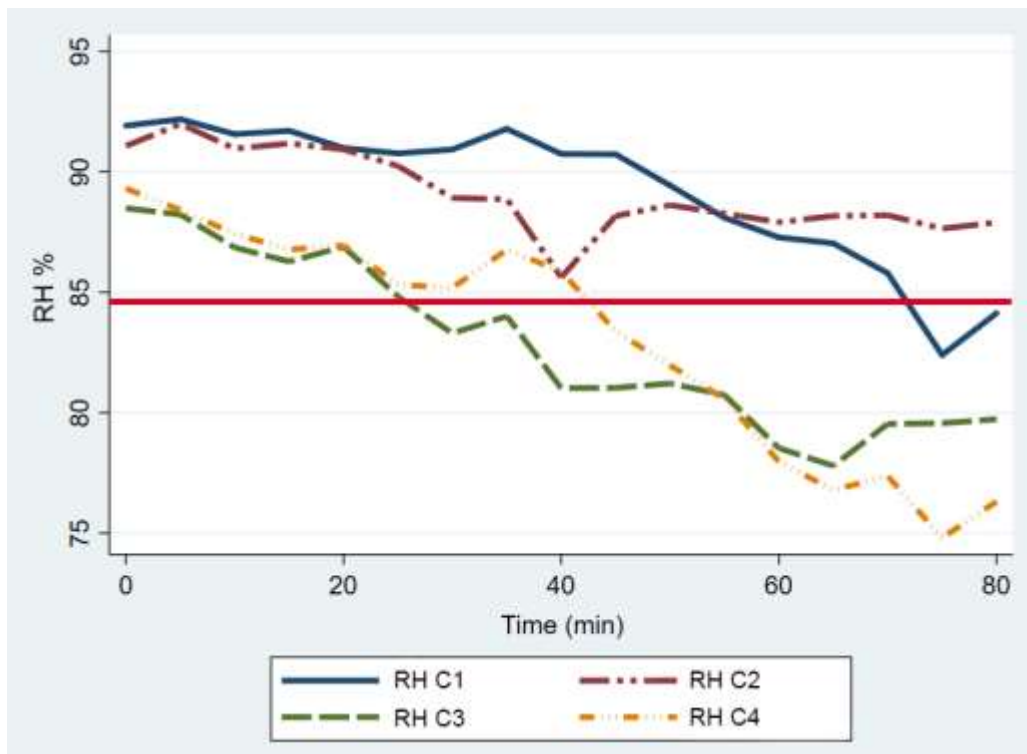
El orden de embarque de los cerdos en la granja fue primero en el compartimiento C1, C2, C3 y por último en el C4 y el de desembarque en la planta de sacrificio fue en sentido contrario primero el compartimiento C4, C3, C2 y por último el C1.

Al evaluar el microclima dentro del camión se encontró que los compartimentos del piso inferior (C1 y C2) presentaron temperaturas promedio más altas con 23.4°C y 23.1°C respectivamente en comparación con los compartimentos del piso superior (C3 y C4) con 22.2°C y 21.6°C respectivamente ( $P < 0.05$ ) y que de acuerdo con la gráfica los compartimentos de adelante presentaron mayor temperatura que los de atrás; Igualmente los resultados mostraron que la generación de zonas de calor ocurrió con diferentes magnitudes a lo largo del transporte en los cuatro compartimentos, siendo menor al inicio del viaje y superando levemente el límite considerado como normal en los compartimentos C1 y C4 a los 40 min de iniciado el viaje, mientras que en los C2 y C3 los niveles descendieron después de este mismo tiempo para luego seguir constantes hasta finalizar el viaje (*Figura2*).



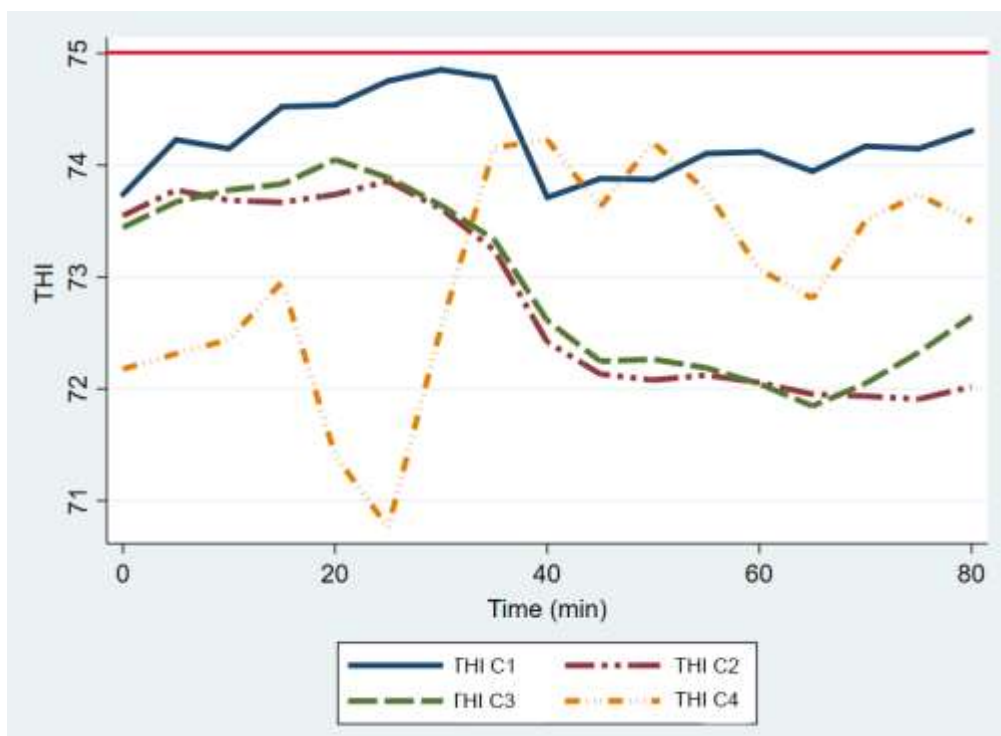
**Figura 2.** Temperatura promedio (Temp) en cuatro compartimentos del camión con ventilación natural, durante el transporte de corta duración bajo condiciones del trópico medio.

La humedad relativa promedio fue mayor en los compartimentos C2y C3 (91.5% y 92.6% respectivamente), así mismo se evidencio que estuvo por encima del umbral considerado como “alerta” ( $\geq 84$ ) al inicio del viaje en los cuatro compartimentos y disminuyó rápidamente por debajo de este límite en los compartimentos C3 y C4a diferencia, los compartimentos C1 y C2 (piso inferior) que estuvieron por encima del umbral casi hasta finalizar el viaje (**Figura 3**).



**Figura 3.** Humedad relativa promedio (HR%) en cuatro compartimentos del camión con ventilación natural, durante el transporte de corta duración bajo condiciones del trópico medio.

Al evaluar los valores generales de THI registrados en este estudio se evidencio que estuvieron por debajo del umbral ( $23.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $\text{THI} \leq 74$ ) considerado propicio para el estrés térmico en los cerdos (114) y no superó los umbrales considerados como alerta durante el viaje ( $75 \leq \text{THI} \leq 78$ ). Sólo el compartimento C1 registró valores ligeramente superiores al umbral considerado normal al inicio del viaje ( $\text{THI} \leq 74$ ) pero luego disminuyeron a los 40 minutos de iniciado el viaje hasta la llegada a la planta de sacrificio (**Figura 4**).



**Figura 4.** Índice de temperatura-humedad promedio (THI) en cuatro compartimentos del camión con ventilación natural, durante el transporte de corta duración bajo condiciones del trópico medio.

## 5.2. Comportamiento durante el desembarque

La duración promedio del desembarque en la planta de sacrificio fue  $1.6 \pm 0.4$ ,  $2.9 \pm 1.3$ ,  $1.8 \pm 0.4$  y  $2.3 \pm 0.4$  minutos (en los compartimentos C1, C2, C3 y C4, respectivamente ( $P > 0.05$ )). Como se observa en la **Tabla 2**, durante el desembarque el indicador conductual de los cerdos más frecuente fue vocalizar y la interacción más usada por los manejadores para movilizar los cerdos fue la intervención física. No obstante, no se observaron diferencias significativas en estas valoraciones respecto al compartimento del camión en el que se ubicaron los cerdos durante el transporte ( $P > 0.05$ ).

**Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados ( $\pm$  SE) de los indicadores de bienestar conductual y de manejo durante el desembarque de cerdos comerciales según compartimento de camión.**

	Compartimento			
	C1	C2	C3	C4
<b>Comportamiento del cerdo</b>				
Resbalón/Caída	0.6 ( $\pm 0.8$ )	2.4 ( $\pm 4.8$ )	1.6 ( $\pm 3.1$ )	0 ( $\pm 0$ )
Vocalizar	6.2 ( $\pm 3.3$ )	9.4 ( $\pm 9.6$ )	6.4 ( $\pm 3.6$ )	7.6 ( $\pm 3.4$ )
Hacia atrás	0.2 ( $\pm 0.4$ )	0.2 ( $\pm 0.4$ )	1.2 ( $\pm 1.7$ )	0 ( $\pm 0$ )
Superposición	0 ( $\pm 0$ )	1.4 ( $\pm 1.6$ )	0 ( $\pm 0$ )	0.2 ( $\pm 0.4$ )
Rechazar	2.2 ( $\pm 1.9$ )	1.2 ( $\pm 1.7$ )	0.8 ( $\pm 1.1$ )	0.4 ( $\pm 0.9$ )
Traslape	0.4 ( $\pm 0.5$ )	0.2 ( $\pm 0.4$ )	0.8 ( $\pm 1.3$ )	0.2 ( $\pm 0.4$ )
<b>Interacción humana</b>				
Hablar/ silbar	4.4 ( $\pm 0.8$ )	7.8 ( $\pm 0.8$ )	6.0 ( $\pm 0.0$ )	7.2 ( $\pm 1.7$ )
Aplaudir	0.2 ( $\pm 0.4$ )	0 ( $\pm 0$ )	0 ( $\pm 0$ )	0.4 ( $\pm 0.8$ )
Bloquear	0.6 ( $\pm 1.3$ )	1.6 ( $\pm 2.3$ )	1 ( $\pm 1.4$ )	2.2 ( $\pm 2.7$ )
Sonido artificial	3.4 ( $\pm 2.6$ )	7.6 ( $\pm 2.6$ )	6.0 ( $\pm 2.2$ )	4.6 ( $\pm 3.1$ )
Intervención física	13.8 ( $\pm 1.6$ )	14.0 ( $\pm 2.4$ )	13.2 ( $\pm 2.4$ )	15.0 ( $\pm 1.14$ )

### 5.3. Indicadores fisiológicos

Los cerdos presentaron un peso promedio de 116 ( $\pm 0.5$ ) kg; en el compartimento 4 se alojaron los cerdos más livianos ( $112.6 \pm 0.9$ ,  $P < 0.05$ ). Las concentraciones séricas de cortisol, proteína total y la relación neutrófilos/linfocitos (N/L) estuvieron por encima de las concentraciones consideradas como normales para la especie; mientras que el hematocrito y las concentraciones sanguíneas de lactato y glucosa estuvieron en los límites considerados como normales. Se observaron diferencias significativas en algunos de estos indicadores de acuerdo con el compartimento en donde se localizaron los animales. Los valores promedio de la temperatura de la piel de los cerdos durante el embarque y desembarque, y entre los compartimentos, no presentaron diferencias estadísticas significativas, aunque si se evidencia un aumento sin superar los valores de referencia en el desembarque; los cerdos que presentaron un incremento en la respiración (jadeo) durante el desembarque fueron los animales localizados en los compartimentos inferiores del camión (C1 y C2) (*Tabla 3*).

**Tabla 3. Valores promedio ( $\pm$ SE) de temperatura, HR, THI, indicadores fisiológicos, temperatura de la piel y pH<sub>45</sub> para todos los compartimentos y animales en las plataformas superior e inferior del camión.**

	<b>Compartimento</b>				
	C1	C2	C3	C4	
<b>Microclima</b>					
Temperatura (°C)	23.4(0.2) <sup>a</sup>	23.1(0.4) <sup>a</sup>	22.2(0.2) <sup>b</sup>	21.6(0.2) <sup>b</sup>	
Humedad Relativa (%)	89.5(0.5) <sup>a</sup>	91.5(0.5) <sup>b</sup>	92.6(0.5) <sup>b</sup>	87.4(0.5) <sup>c</sup>	
THI	74.2(0.3)	72.8(0.8)	72.9(0.7)	73.0(0.9)	
<b>Indicadores fisiológicos</b>					
					<b>Valores de Referencia</b>
Peso (kg)	119.0(0.3) <sup>a</sup>	117.1(0.95) <sup>a</sup>	116.0(1) <sup>a</sup>	112.6(0.9) <sup>b</sup>	
Glucosa (mmol/L)	4.6(0.1)	4.6(0.1)	4.7(0.1)	4.5(0.1)	3.6-5.3
Lactato (mmol/L)	11(0.5) <sup>a</sup>	9.9(0.4) <sup>b</sup>	9.1(0.4) <sup>b</sup>	9.2(0.4) <sup>b</sup>	0-12
Hematocrito (%)	38.3(0.6)	36.7(0.6)	37.3(0.6)	39.1(0.8)	32-50
Cortisol ( $\mu$ /dL)	8.2(0.4) <sup>a</sup>	7.4(0.4) <sup>a</sup>	7.7(0.3) <sup>a</sup>	11(0.6) <sup>b</sup>	2.3-3.3
Proteína total(g/L)	83.6(0.7)	83.8(1)	82.9(1.1)	86.6(1.2)	19-24
Relación N/L	0.86(0.1) <sup>a</sup>	1.2(0.1) <sup>a</sup>	1.3(0.1) <sup>a</sup>	1.7(0.1) <sup>b</sup>	0.2-0.7
<b>Temperatura de la piel</b>					
Embarque (°C)	36.6(0.1)	36.8(0.1)	37.1(0.1)	37(0.1)	
Desembarque (°C)	38.8(0.1)	38.4(0.2)	38.8(0.1)	38.9(0.1)	
Jadeo (%-n)	50% (16) <sup>a</sup>	53.8% (21) <sup>a</sup>	33.3% (12) <sup>b</sup>	13.2% (7) <sup>c</sup>	
<b>Calidad de carne</b>					
pH <sub>45</sub>	6.2(0.04)	6.2(0.04)	6.3(0.04)	6.2(0.04)	
<b>Clasificación de la carne (%)</b>					
PSE (pH <sub>45</sub> <6.0) *	10.4	13.3	0.0	5.0	
RFN (pH <sub>45</sub> ≥6.0) **	89.6 <sup>a</sup>	86.7 <sup>a</sup>	100 <sup>b</sup>	95.0 <sup>c</sup>	

a, b, c: letras diferentes en la misma fila significan diferencias significativas entre tratamientos (P <0.05). \*PSE (pálido, blando, exudativo), \*\*RFN (rojo, firme, no exudativo) adaptado de Faucitano et al.(115) y Tomović et al.(116).



#### **5.4. Cerdos no ambulatorios y muertos**

En los cuatro viajes se presentó: un DOAs ubicado en el compartimento C1, un NAI y un NANI en el compartimento C2.

#### **5.5. Calidad de carne**

No se observaron diferencias significativas en los valores promedio del pH<sub>45</sub> de la carne según el compartimento del camión ( $P>0.05$ ). La variable pH se transformó en una variable binaria teniendo en cuenta los lineamientos sugeridos por Faucitano et al. (115) y Tomović et al. (116) para clasificar la calidad de carne como pálida, suave y exudativa (PSE,  $\text{pH}_{45}<6.0$ ) y roja, firme y no exudativa (RFN,  $\text{pH}_{45}\geq 6.0$ ). De acuerdo con esta clasificación se observaron diferencias significativas en la proporción de carne PSE y RFN según el compartimento del camión, observándose una mayor proporción de carne PSE en los cerdos localizados en los compartimentos del piso inferior y mayor proporción de carne RFN en los cerdos transportados en el piso superior ( $P<0.05$ ).

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1. Microclima durante el transporte

Los camiones y las carrocerías usadas para el transporte de los cerdos tienen una gran variación en tamaño y diseño a lo largo del mundo, determinada por el tipo de carreteras, las condiciones climáticas, las categorías comerciales de los animales y el grado de especialización de la cadena logística (117). En Colombia, el transporte terrestre comercial de cerdos se realiza principalmente en camiones de uno y de dos pisos, con tamaños de carga que oscilan entre 6 y 80 cerdos por viaje. La mayor proporción de los camiones especializados para el transporte de cerdos presentan carrocerías y divisiones de los compartimentos metálicos, dotados con bebederos y con sistemas de ventilación pasiva (14,118).

En este estudio, el diseño del camión, la duración del viaje y el transporte en horas frescas del día (6:00 a.m.)(119), aseguraron una adecuada ventilación natural para evitar que la temperatura interna alcanzara el umbral superior de tolerancia cuando el camión estaba en movimiento (115), lo que sugiere que la energía térmica eliminada del medio ambiente permitió las condiciones térmicas suficientes para asegurar la supervivencia de los animales en el camión (65). Las dos características del microclima (temperatura y humedad relativa) se vieron levemente afectadas según el compartimento del camión, ya que los compartimentos del piso inferior (C1 y C2) mostraron aumentos moderados en la temperatura del aire comparados con los compartimentos del piso superior (C3 y C4), lo mismo que con los compartimentos de adelante (C1 y C3) en comparación con los de atrás (C2 y C4), aspecto que puede deberse en parte a exposición de la radiación solar que calienta el vehículo por encima de las temperaturas efectivas observadas en el exterior (56) y a las diferencias en el flujo del aire (ventilación)(9,120), debido a que durante el

transporte, el aire fresco ingresa por la parte trasera y sale hacia el centro y el frente del camión, permitiendo un mayor flujo de aire en los compartimentos traseros (1,121), y formando un núcleo de calor con un alto contenido energético en la región delantera del camión (presión nanométrica negativa)(122,123). Resultados similares son observados por Lenkaitis et al (99) quienes estudiaron el microclima dentro de un camión que transportaba cerdos con peso comercial en tres climas diferentes (cálido, templado y frío), encontrando que en clima templado había cierta diferencia de temperatura entre compartimientos, siendo los compartimientos delanteros más cálidos que los traseros, pero difiere con el presente ensayo ya que las temperaturas de los compartimentos superiores eran mayores que los inferiores, lo que era explicado en parte por el calor que emitía los animales de los compartimiento inferiores y a la radiación solar que calentaba el techo del vehículo. Sin embargo, en el presente estudio al observar la gráfica de la Figura 2 se puede evidenciar que en el compartimiento C4 la temperatura empieza a aumentar después de los 20 minutos de iniciado el viaje y permanece alta superando levemente el umbral durante el resto del viaje lo que podría ser explicado por lo anteriormente descrito.

Gilkeson et al., (9) en su estudio concuerda en que el flujo de aire fluye el doble en la plataforma superior del camión en comparación con la plataforma inferior, y que la ventilación es limitada en la parte delantera del camión, porque el flujo no circula libremente al estar protegida por el cabezote del vehículo. Así mismo el incremento de temperatura en los compartimentos C1 y C2 también puede atribuirse al orden de embarque y desembarque de los animales, ya que los cerdos de estos compartimentos siempre fueron los primeros en cargarse y los últimos en descender del camión, además del calor generado por los cerdos combinado con la falta de aire al estar el

vehículo estacionado; resultados similares fueron reportados por Weschenfelder et al., (11) quienes en su ensayo observan un incremento de temperatura en el compartimiento primero en cargarse y el efecto fue atribuido al orden de carga.

Por otra parte, al tener en cuenta la duración de viaje, en el presente estudio los valores de temperatura y humedad durante todo el viaje superaron levemente el umbral de alerta considerado como propicio para el estrés térmico en los cerdos (124,125), resultados que difieren con Machado et al. (8) quienes en su estudio realizado durante el transporte de lechones destetos en viajes de corta duración (distancia 70 km), en camiones dotados con sistemas de ventilación pasiva en climas tropicales de Brasil, describen que los animales estuvieron expuestos a valores medios más altos de temperatura del aire, humedad relativa y THI considerados como estados térmicos “peligrosos” y de “emergencia”, diferencias que pueden estar asociadas con la edad de los animales, genética, el diseño del camión, la presencia de rampas, densidad de la población, época del año, hora en que se realiza el transporte, entre otros aspectos (3,5).

Al tener en cuenta los horarios en los que se realizaron los viajes, un estudio realizado en regiones semiáridas del Brasil encontró que los viajes de corta distancia (30 km) realizados en las horas de la tarde (3) tuvieron un efecto negativo en el confort térmico de los cerdos; igualmente se describe que el porcentaje de pérdidas por transporte fue más alto en los viajes que se produjeron en horas de la tarde independientemente de la distancia, observando menores pérdidas en los animales transportados en la noche (23:00-04:00), mientras que en nuestro estudio el transporte de los cerdos se realizó en las horas de la mañana (entre 6 y 7 a.m.) y no se observaron elevaciones de temperaturas consideradas como extremas entre los pisos inferior y

superior del camión, lo cual pudo haber sido mitigado por una serie de factores, por ejemplo, la temperatura externa promedio del área de estudio (17.3 °C) la corta duración del viaje (1.5 h), la aspersión de los cerdos durante el embarque (8) y el diseño de la carrocería del camión que podría favorecer la ventilación natural adecuada de los animales para evitar que la temperatura interna alcanzara el umbral superior de tolerancia térmica cuando el camión estuvo en movimiento(115).

## **6.2. Comportamiento durante el desembarque**

La IHA tiene un impacto fundamental en la productividad y el bienestar animal, por tanto, fomentar una IHA positiva tiene un efecto eficaz para disminuir el estrés (126). Esta interacción se ve afectada por la composición genética de los cerdos, el contacto regular con los humanos (que conduce a la habituación), el contacto positivo durante la crianza (127), el ayuno, el nivel de capacitación del personal, entre otros (40, 70,128). La respuesta conductual de los cerdos durante el embarque y el desembarque se considera un indicador del estrés generado durante el transporte de los animales (129,130).La vocalización (superficial o intensa), la conducta de escape, la respiración rápida, las posturas anormales, la reactividad, la vigilancia y el estado de alerta reflejan la respuesta del animal al miedo o la angustia (131).En este estudio los tiempos de desembarque fueron cortos y a pesar de que algunos autores sugieren que están asociados con peores prácticas de gestión que los tiempos más largos, los cerdos no presentaron respuestas de miedo ya que los promedios de los indicadores conductuales fueron bajos en todos los compartimientos del camión (20).El mayor uso de intervenciones físicas por parte del personal de la planta para desembarcar los animales y las vocalizaciones de los cerdos como respuesta al manejo pueden estar relacionadas con la falta de capacitación y entrenamiento del personal, u otros factores como: el diseño de la rampa, niveles de ruido y la novedad, entre otros aspectos

(90,132). Esos resultados son similares a los reportados por Acevedo-Giraldo et al., (40), ya que en su estudio realizado en Colombia bajo las mismas condiciones de transporte y con cerdos de ceba de la misma línea genéticas encontró que las IHA más frecuentes fueron golpes y silbidos durante el embarque y en mayor medida durante el desembarque.

### **6.3. Indicadores fisiológicos**

La exposición previa al sacrificio a diversos factores estresantes conduce a un aumento del metabolismo catabólico y de la producción de energía, lo que incrementa la temperatura corporal de los cerdos (131). Las temperaturas críticas para los animales pueden variar significativamente, y son influenciadas por múltiples factores que incluyen la línea genética, el peso, la composición corporal, el manejo de la dieta, el tamaño del grupo y la compleja interacción entre la temperatura y la humedad ambiental(133).

Los aumentos de temperatura corporal y de la frecuencia de la respiración (jadeo) son indicadores indirectos de estrés térmico y sugieren una demanda sobre los mecanismos fisiológicos que mantienen la temperatura corporal (134). La temperatura de la piel de los mamíferos se utiliza a menudo como una medida indirecta del esfuerzo de termorregulación, ya que los estados de estrés tienden a causar hipertermia (135). La respuesta termorreguladora de los cerdos está influenciada por las condiciones ambientales, por lo tanto, el microclima del camión puede limitar la respuesta de los animales al estrés por transporte (136). En este estudio se observó un incremento moderado de la temperatura de la piel de los cerdos durante el desembarque en la planta de sacrificio, sin sobrepasar los umbrales considerados como normales y sin encontrar diferencias significativa entre los compartimientos, aspecto que puede estar

relacionado con el hecho de que la mayor parte del transporte terrestre, los animales no fueron expuestos a las temperaturas asociadas al estrés térmico en ninguno de los compartimentos, teniendo en cuenta que las temperaturas termoneutrales para los cerdos oscilan entre los 15 y 28 °C(56). En el estudio realizado por Machado et al., 2021 (8)se reporta un incremento de la temperatura de la piel después del transporte, además de encontrar diferencias significativas ( $P = 0.002$ ) entre los compartimentos delanteros del piso superior que presentaban las temperaturas promedio más altas (39.94°C) en comparación con los del piso inferior.

Se ha demostrado que los sistemas de aspersión de agua en el camión previo al transporte aumentan la capacidad de enfriamiento por evaporación y disminuyen el índice THI, así mismo, reducen las muertes durante el transporte y, por lo tanto, se consideran como una estrategia de mitigación del calor (124); así mismo estudios demuestran que la práctica de aspersión de agua antes y después del transporte reduce la temperatura del tracto gastrointestinal de los cerdos a la llegada a la planta y el comportamiento de beber agua en la zona de estabulación (1,8,123). Sin embargo, ensayos indican que mojar los cerdos y los pisos del camión inmediatamente antes del desembarque haría que las rampas se volvieran resbaladizas y aumentarían las tasas de resbalones y caídas(137), pero si los viajes son durante períodos cortos este efecto no se observa, así como el efecto negativo de la introducción de agua en el camión en términos de humedad (1). La alta humedad en combinación con temperaturas elevadas es peligrosa ya que los cerdos no pueden transferir su calor al aire circundante (59). Los cerdos han desarrollado una amplia gama de comportamientos termorreguladores que son propios de esta especie, por ejemplo, pueden perder calor por conducción, convección y radiación (pérdida de calor sensible) y por evaporación (pérdida de calor latente) (125). Cuando la reducción del gradiente de temperatura entre la piel y

el aire del ambiente es ineficaz, los cerdos pierden calor principalmente por evaporación al aumentar la frecuencia respiratoria (jadeo) para mantener la temperatura corporal constante (138). En este estudio, los cerdos localizados en los compartimentos inferiores (C1 y C2) presentaron un aumento del jadeo durante el desembarque, aspecto que pudo estar asociado con su exposición a una atmósfera sobresaturada (HR >80%) por la acumulación de agua principalmente en estos compartimentos, que aumentó el jadeo como una respuesta fisiológica para mejorar el intercambio térmico mediante el mecanismo de evaporación (139,140). Resultados similares fueron obtenidos por Machado et al., (8) quienes también reportan incremento en la frecuencia respiratoria (102 respiraciones/min) después del transporte y diferencias significativas ( $P = 0.003$ ) en los compartimentos del piso inferior vs los del piso superior, explicado posiblemente a que el jadeo de los cerdos se vuelve ineficaz para la termorregulación de los cerdos cuando hay un aumento en la HR debido a la variación de la temperatura ambiente y el contenido del vapor de agua en el aire especialmente en vehículos con ventilación pasiva (3,11,59).

Independientemente de la duración y de las condiciones del viaje, el transporte es un evento estresante para los cerdos (40,141). Aunque los cerdos del presente ensayo en general no fueron sometidos a condiciones de estrés térmico durante el transporte, los niveles de cortisol durante el desangrado fueron altos y pudieron estar asociados con una mayor demanda de energía de los animales durante el presacrificio (embarque, transporte y desembarque) (81,142), al tiempo de más de 12 horas de espera en la planta de sacrificio y por lo tanto al ayuno (132) y el manejo durante la conducción hacia el área de aturdimiento (102), así como el resultado de la respuesta al ejercicio y el estrés inducido por el manejo de los animales (57,143); resultados que



concuerdan con lo reportado por Acevedo-Giraldo et al., (40) y Pérez et al., (97) quienes reportan que tiempos superiores a 9 h de descanso antes del sacrificio incrementa los nivel de cortisol que se atribuyó al ayuno, mientras que tiempos de descanso de 2 a 3 h los disminuye ya que permite a los cerdo recuperarse del estrés del transporte y la manipulación asociada (132). Así mismo, en cuanto a la localización de los cerdos en los compartimentos, en el actual trabajo se pudo observar que los compartimentos C1 del piso inferior y el C4 del piso superior presentaron niveles más altos de cortisol que los otros compartimientos, posiblemente debido al orden de embarque y desembarque del compartimento C1 descrito anteriormente en lo del microclima ya que los cerdos de este compartimento tuvieron más tiempo de espera en el vehículo, siendo el primero en cargarse y el último en desembarcar; igualmente se puede deber a que las condiciones de confort térmico fueron menos favorables (ITH más altos), resultados que concuerdan con los reportados por otros autores (1,8,57), por lo cual, se ha propuesto el uso de ventiladores en los compartimentos ubicados en la región delantera e inferior del camión (8) o alterar los patrones de ventilación dentro de los camiones con sistemas ambientales controlados para aumentar la uniformidad térmica, mediante la manipulación de la ubicación de las entradas y salidas del aire fresco (10). Por otra parte, estudios también describe que el incremento del cortisol también puede ser debido a la duración del transporte ya que en los viajes largos los animales tienen más tiempo para adaptarse a las condiciones del transporte después de eventos estresante como el retiro de los corrales en la granja, el embarque, entre otros, además llegan en mejores condiciones que después de un viaje corto (48).

Con respecto a los niveles de lactato y glucosa en la presente tesis no se encontró valores elevados por encima de los de referencia, pero si se encontró diferencias significativas al

comparar los niveles de lactato entre los compartimentos, siendo más altos en el compartimiento C1 debido a una demanda superior de energía durante el presacrificio(81,142), el tiempo de espera en la planta de sacrificio, el ayuno (132) y el orden de embarque y desembarque ya que el aumento de las concentraciones del lactato en plasma se dan a una velocidad relativamente rápida (4 min) después de iniciado el ejercicio físico, como resultado del daño del tejido muscular(116,144), así al manejo de los cerdos antes del aturdimiento y el desangrado(145).

Con relación al hematocrito se encontraron valores normales, pero las proteínas plasmáticas totales sí estuvieron por encima de los valores de referencia, lo que puede indicar que los animales estaban deshidratados por condiciones de calor, ayuno, manejo durante el presacrificio(146,147) o baja ingesta de agua(56). En el estudio realizado por Acevedo-Girado (40) en Colombia y bajo las mismas condiciones de transporte, presacrificio y sacrificio también reportan deshidratación en los cerdos por bajo consumo de agua, así como bebederos insuficientes para el número de cerdos que hay en la planta de sacrificio, aspecto que podría influir en la deshidratación de los animales, situación que también ha sido reportada por otros autores en plantas de sacrificio en Colombia (22). La baja ingesta de agua también puede ser explicada por la de aspersión de agua antes y después del transporte ya que esta reduce el comportamiento de beber agua en la zona de estabulación (1, 8,123)

Con respecto a la relación neutrófilos/linfocitos en el actual ensayo se vio un aumento en los niveles con referente a los valores de referencia, así como diferencias significativas entre los compartimentos siendo más altos en el C4 lo que puede indicar incremento de los glucocorticoides como respuesta al estrés durante el transporte y el manejo de los animales en la

granja y en la plata de sacrificio, lo que produce neutrofilia y linfopenia(50). Otros autores han asociado esta relación como un indicador de estrés térmico crónico y su incremento con la falta de suministro de agua durante el transporte (148).

#### **6.4. Cerdos no ambulatorios y muertos**

El término pérdidas por transporte hace referencia a los cerdos que mueren o se convierten en no-ambulatorios en alguna etapa del proceso de comercialización, es decir durante el traslado de los animales desde las granjas de ceba, hasta el sacrificio (aturdimiento, desangrado) en las plantas de beneficio (149). Cuando los cerdos son sometidos a factores estresantes se altera la homeostasis interna que induce cambios en la actividad del sistema nervioso autónomo y el eje hipotálamo-pituitaria-adrenal (112). Como respuesta al ejercicio agudo se incrementa la demanda de oxígeno y se activa la vía glicolítica anaerobia, con la consecuente acumulación de ácido láctico, que copa el ciclo de Cori y produce una acidosis metabólica, caracterizada por una disminución del pH sanguíneo y un incremento de la temperatura corporal entre 1 y 2.5 °C, conocido como hipertermia por estrés (150), además de disnea y pérdida de la coloración cutánea (14). Si las condiciones de manejo no se modifican, los animales estarán renuentes a caminar, emitirán vocalizaciones agudas y presentarán temores musculares (151). La mayoría de los cerdos se pueden recuperar si descansan durante un lapso de tres horas (14,152); y los más susceptibles (genética, cuadros subclínicos o inmunodeprimidos) pueden morir por acidosis metabólica aguda(111). Por lo tanto, la presencia de cerdos muertos y fatigados durante el transporte puede ser el resultado del efecto aditivo del estrés del embarque y el transporte (83,153). Uno de los factores que incrementa la presencia de pérdidas por transporte es el microclima del camión (149), aspecto que ha sido descrito durante el transporte de cerdos bajo

condiciones de ventilación pasiva en climas tropicales en Brasil (3, 13,154) y Colombia principalmente (14). En este estudio se reportaron bajas tasas de cerdos DOAs, NANI y NAI, coincidiendo con estudios previos desarrollados en tres regiones productoras de cerdos de Colombia (14, 29,155). En el rango de frecuencia considerado como normal en América del Norte (123), pero inferiores a las reportadas en Brasil (13). Las diferencias entre los estudios pueden estar asociadas a factores multicausales relacionados con los animales (genética, edad, peso, nivel de hidratación), el diseño de los camiones (sistemas de ventilación, tipo de carrocerías), las condiciones y logística del viaje (tiempo de transporte, distancia, velocidad del camión, paradas durante el viaje), el menor número de cerdos transportados en camiones colombianos (tamaño del lote), la interacción humano-animal, las condiciones climáticas, el sistema de comercialización de ganado, el conocimiento y la experticia de los conductores, entre otros (14,156).

#### **6.4. Calidad de carne**

El bienestar animal se reconoce como un atributo importante de los alimentos de alta calidad en la industria ganadera en desarrollo (157) y es considerado como indicativo de conciencia humana y estándares éticos(158). Numerosos estudios en ciencia animal han revelado una relación directa entre un alto BA y una carne de mayor calidad (157).El estrés previo al sacrificio afecta la calidad de la carne debido a cambios indeseables del pH post-mortem que dependen de la disponibilidad de reservas de glucógeno muscular y de la actividad metabólica del músculo en el momento del sacrificio (159,160).Cuando un animal está bajo estrés inmediatamente antes del sacrificio (como ejercicio físico intenso, aplicación de picanas eléctricas, peleas, etc.), se produce una alta actividad metabólica del músculo durante el sacrificio y también después de este (fase

de rigor y post-rigor) (161), lo que provoca una caída del pH mientras la canal aún está caliente, dando como resultado una carne PSE. El pH bajo y las altas temperaturas provocan la desnaturalización de las proteínas musculares, lo que da como resultado una carne de color claro con baja capacidad de retención de agua y alta pérdida por goteo (131,162).

Es bien sabido que el estrés por calor tiene un impacto en las reservas de glucógeno muscular antemortem y postmortem, lo que conduce a una mayor incidencia de carne PSE (7,20). La mayoría de los lomos evaluados en este estudio se clasificaron como RFN (calidad normal), resultados que concuerdan con lo reportado por Weshfender et al. (11), quienes evaluaron el efecto del diseño del vehículo sobre las respuestas al estrés y la calidad de la carne encontrando que la calidad de la carne no se vio afectada por las condiciones del transporte ni por el diseño del camión y por Acevedo-Giraldo et al., (40) en su experimento realizado en Colombia donde la mayoría de los lomos evaluados también eran clasificados como RFN. Así mismo, en el experimento de Edwards et al., (145) quienes correlacionan la calidad de la carne con los valores de lactato se concluye que un mejor manejo de los cerdos antes del sacrificio no necesariamente se traduce en una mejor calidad de la carne. En el estudio de Hambrecht et al., (48) que evalúa el efecto negativo del estrés antes del sacrificio (transporte y manejo en la planta de sacrificio) no se reporta efecto del estrés físico sobre el color de la carne, pero sí sobre las propiedades de retención de agua ( $P < 0.001$ ); sin embargo, en la presente tesis los cerdos ubicados en los compartimentos inferiores tuvieron una mayor influencia en los rasgos de calidad de la carne, debido a que presentaron una mayor proporción de lomos con menores valores de  $Ph_{45}$  (carne PSE) que puede ser atribuido al a las fluctuaciones de temperatura y humedad que presentaron los compartimentos C1 y C2 y que tuvieron un efecto adicional sobre la homeostasis de los cerdos y la calidad de la carne (76).

En el presente estudio, el valor promedio de pH a los 45 min fue  $6.25 \pm 0.02$ , resultados similares fueron reportados en estudios anteriores realizados en Brasil (163) y la Península Ibérica (7). Por otro lado, la incidencia de carne PSE (%) en este estudio estuvo por encima de 5.8% en la carne de los cerdos evaluados a excepción de los animales que se localizaron en el C4, resultados que concuerdan con un estudio realizado en plantas de sacrificio comercial en Colombia que evaluó 3.258 cerdos procedentes de granjas tecnificadas localizadas en el área de producción porcina más importante del país con tiempos de transporte cortos que osciló entre 0,5 a 6 h y que encontraron una incidencia de carne PSE de 5.8%(29). Sin embargo, la incidencia de carne PSE en este estudio fue mejor a las reportadas recientemente en un estudio realizado en China en invierno (13.9%) y en verano (26.9%)(164). Las diferencias encontradas en los valores de pH entre los estudios pueden estar influenciadas por una variedad de factores, incluido el género, antecedentes genéticos, dieta, peso al sacrificio, factores ambientales, variaciones climáticas, las condiciones de crianza, manejo presacrificio, sistema de refrigeración de las canales, entre otros aspectos (164,165).

## 7. CONCLUSIONES

El presente estudio muestra que el grado de estrés térmico experimentado por los cerdos de ceba comercial durante el transporte terrestre en climas tropicales estuvo relacionado con la posición de los animales (piso superior o inferior) y el compartimento en el camión. Además el transporte se realizó en las horas más frescas del día y durante un corto tiempo, con la densidad de carga y el número de animales apropiado, que da como resultado valores promedio THI  $\leq 74$  adecuados durante los viajes que sugieren que la temperatura interna del camión no fue suficiente para que los compartimentos alcanzaran el umbral superior de tolerancia y sobrepasara los requisitos biológicos de los cerdos, por lo que los animales enfrentaron los desafíos fisiológicos y metabólicos con bajas tasas de DOAs, NANI y NAI y un bajo impacto en la calidad de la carne.

Con respecto a las variables del fisiológicas se puede evidenciar que el transporte y el manejo previo al sacrificio inciden en el BA por el estrés que genera, sin embargo, puede ser compensado por viajes cortos, densidad de carga adecuada que permitió la recuperación de los animales del viaje dando como resultado menores impactos negativos en la calidad de la carne.

En relación con la evaluación de la IHA se evidenció que el mayor uso de intervenciones físicas por parte del personal de la planta para desembarcar los animales y las vocalizaciones de los cerdos como respuesta al manejo puede estar relacionado con la falta de capacitación y entrenamiento del personal en la planta de sacrificio.

## **8. RECOMENDACIONES**

Es fundamental planificar las operaciones de transporte de cerdos en climas tropicales durante las horas más frescas del día y evaluar la aptitud de los animales para el transporte para mitigar el estrés térmico, disminuir las pérdidas de producción y garantizar la calidad de la carne. Así mismo varios estudios han demostrado el valioso papel del estudio de la dinámica de fluidos computacional en la determinación de la ventilación pasiva en el interior de los remolques de transporte de animales, por lo que recomendamos realizar más estudios utilizando esta tecnología para proponer cambios estructurales en los vehículos que aseguren un transporte efectivo, proporcionar pautas a los fabricantes y proponer medidas sanitarias, así como para los requisitos para camiones de transporte de ganado vacuno y porcino, según el tipo de vehículo utilizado. También es necesario en Colombia y en países de Latinoamérica realizar estudios para evaluar el microclima del camión en viajes de larga duración, en climas calurosos y cuando los camiones están parados, por ejemplo, en situaciones de tráfico y congestión para poder evaluar si estas condiciones tienen impacto en el BA y la calidad de la carne y en las pérdidas por transporte ya que se tiene escasa literatura.



## 9. REFERENCIAS

1. Fox J, Widowski T, Torrey S, Nannoni E, Bergeron R, Gonyou HW, et al. Watersprinklingmarketpigs in a stationarytrailer. 1. Effectsonpigbehaviour, gastrointestinal tracttemperature and trailermicro-climate. *LivestSci* [Internet]. 2014 Feb;160:113–23. Availablefrom: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1871141313005647>
2. Nielsen SS, Alvarez J, Bicout DJ, Calistri P, Depner K, Drewe JA, et al. Welfareofpigs at slaughter. *EFSA Journal*. 2020 Jun;18(6).
3. Machado NAF, Barbosa-Filho JAD, Martin JE, Da Silva IJO, Pandorfi H, Gadelha CRF, et al. Effectofdistance and dailyperiodsonheat-stressedpigs and pre-slaughterlosses in a semiaridregion. *Int J Biometeorol* [Internet]. 2022 Aug 22;66(9):1853–64. Availablefrom: <https://link.springer.com/10.1007/s00484-022-02325-y>
4. G. LeRoy Hahn, John B. Gaughan, Terry L. Mader, Roger A. Eigenberg. Chapter 5: ThermalIndices and TheirApplicationsforLivestockEnvironments. In: *LivestockEnergetics and ThermalEnvironment Management*. St. Joseph, MI: American SocietyofAgricultural and BiologicalEngineers; 2009. p. 113–30.
5. Mcglone JJ, Mcpherson RL, Anderson DL. MovingDevicesforFinishingPigs: Efficacyof Electric Prod, Board, Paddle, orFlag. *ProfAnimSci* [Internet]. 2004 Dec;20(6):518–23. Availablefrom: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1080744615313577>
6. Contreras-Jodar A, Escribano D, Cerón JJ, López-Arjona M, Aymerich P, Soldevila C, et al. ReducingStockingDensities and UsingCoolingSystemsfor More AdaptedPigsto High TemperaturesWhenReared in Intensive Conditions. *Animals*. 2023 Jul 27;13(15):2424.
7. Miranda-de la Lama GC, Bermejo-Poza R, Formoso-Rafferty N, Mitchell M, Barreiro P, Villarroel M. Long-DistanceTransportofFinisherPigs in theIberianPeninsula: EffectsofSeasononThermal and EnthalpyConditions, WelfareIndicators and Meat pH. *Animals* [Internet]. 2021 Aug 16;11(8):2410. Availablefrom: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/8/2410>
8. Machado NAF, Martin JE, Barbosa-Filho JAD, Dias CTS, Pinheiro DG, de Oliveira KPL, et al. Identificationoftrailerheatzones and associatedheat stress in weanerpigstransportedbyroad in tropical climates. *J ThermBiol* [Internet]. 2021 Apr;97:102882. Availablefrom: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306456521000498>
9. Gilkeson CA, Thompson HM, Wilson MCT, Gaskell PH. QuantifyingpassiveventilationwithinsmalllivestocktrailersusingComputational Fluid Dynamics. *ComputElectronAgric* [Internet]. 2016 Jun;124:84–99. Availablefrom: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168169916300965>

10. Xiong Y, Green A, Gates R. Characteristics of Trailer Thermal Environment during Commercial Swine Transport Managed under U.S. Industry Guidelines. *Animals* [Internet]. 2015 Apr 10;5(2):226–44. Available from: <http://www.mdpi.com/2076-2615/5/2/226>
11. Weschenfelder A V., Torrey S, Devillers N, Crowe T, Bassols A, Saco Y, et al. Effects of trailer design on animal welfare parameters and carcass and meat quality of three Pietrain crosses being transported over a long distance. *J Anim Sci* [Internet]. 2012 Sep 1;90(9):3220–31. Available from: <https://academic.oup.com/jas/article/90/9/3220/4701746>
12. Gourdine JL, Rauw WM, Gilbert H, Pouillet N. The Genetics of Thermoregulation in Pigs: A Review. *Front Vet Sci*. 2021 Dec 13;8.
13. Dalla Costa OA, Dalla Costa FA, Feddern V, Lopes L dos S, Coldebella A, Gregory NG, et al. Risk factors associated with pig pre-slaughtering losses. *Meat Sci* [Internet]. 2019 Sep;155:61–8. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174018311318>
14. Romero MH, Sánchez JA, Hernandez RO. Field Trial of Factors Associated With the Presence of Dead and Non-ambulatory Pigs During Transport Across Three Colombian Slaughterhouses. *Front Vet Sci* [Internet]. 2022 Jan 24;9. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2022.790570/full>
15. Barea R, Nieto R, Lara L, García MA, Vilchez MA, Aguilera JF. Effect of dietary protein content and feeding level on carcass characteristics and organ weight of Iberian pigs growing between 50 and 100 kg liveweight. *Animal Science*. 2006 Jun 9;82(3):405–13.
16. Renaudeau D, Giorgi M, Silou F, Weisbecker JL. Effect of Breed (Lean or Fat Pigs) and Sex on Performance and Feeding Behaviour of Group Housed Growing Pigs in a Tropical Climate. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2006 Feb 1;19(4):593–600.
17. Gajana CS, Nkukwana TT, Marume U, Muchenje V. Effect of transportation time, distance, stocking density, temperature and lairage time on incidences of pale soft exudative (PSE) and the physico-chemical characteristics of pork. *Meat Sci*. 2013 Nov;95(3):520–5.
18. Bracke MBM, Herskin MS, Marahrens M, Gerritzen M, Spoolder HAM. Review of climate control and space allowance during transport of pigs (version 1.0). In 2020.
19. Zhang Z, Zhang H, Liu T. Study on body temperature detection of pig based on infrared technology: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2019 Mar;1:14–26.
20. Guàrdia MD, Estany J, Balasch S, Oliver MA, Gispert M, Diestre A. Risk assessment of PSE condition due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs. *Meat Sci* [Internet].

- 2004 Jul;67(3):471–8. Available from:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174003003310>
21. Bastos RG, Federizzi J, Deschamps JC, Cardellino R, Dellagostin OA. Characterization of swine stress gene by DNA testing using plucked hair as a source of DNA. *Genet Mol Biol*. 2000 Dec;23(4):815–7.
  22. Uribe Corrales N, Henao Villegas S. Transporte de cerdos y sus repercusiones en el bienestar animal y la producción cárnica. *RevMedVet (Bogota)* [Internet]. 2016 Nov 30;(33):149–58. Available from: <https://ciencia.lasalle.edu.co/mv/vol11/iss33/16>
  23. Saintilan R, Mérour I, Schwob S, Sellier P, Bidanel J, Gilbert H. Genetic parameters and halothane genotype effect for residual feed intake in Piétrain growing pigs. *LivestSci*. 2011 Dec;142(1–3):203–9.
  24. Trujillo E, Camargo M, Noriega D. Búsqueda molecular de mutantes en el gen RYR-1 que predisponen al síndrome del estrés porcino, en Antioquia (Colombia). *Actual Biol*. 2001;23(75):47–52.
  25. Velarde A, Gispert M, Faucitano L, Manteca X, Diestre A. Survey of the effectiveness of stunning procedures used in Spanish pig abattoirs. *Veterinary Record*. 2000 Jan;146(3):65–8.
  26. Hernández DY, Posso Terranova AM, Muñoz Flórez JE. Detección de una mutación puntual en el gen receptor Ryanodina (Ryr 1) en cerdos criollos colombianos. *Acta Agron*. 2008;57:275–8.
  27. Fábrega E, Manteca X, Font J, Gispert M, Carrión D, Velarde A, et al. Effects of halothane gene and pre-slaughter treatment on meat quality and welfare from two pig crosses. *MeatSci*. 2002 Dec;62(4):463–72.
  28. Álvarez D, Garrido MD, Bañón S. Influence of Pre-Slaughter Process on Pork Quality: An Overview. *Food Reviews International*. 2009 Jun 22;25(3):233–50.
  29. Romero M, Sánchez J, Hoyos R. Factores asociados con la frecuencia de cerdos no ambulatorios durante el transporte. *ArchMedVet* [Internet]. 2016;48(2):191–8. Available from: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-732X2016000200009&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2016000200009&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
  30. Castro-Molina SL, Ariza-Botero MF, Ríos-Rodríguez M, Moreno DJ, Guerrero-Castillo GH. Detección del Polimorfismo 1843 en el Gen Receptor de Ryanodina Mediante la Técnica de PCR-SSCP. *Orinoquia*. 2011 Dec 1;15(2):192.
  31. Broom DM. A History of Animal Welfare Science. *Acta Biotheor*. 2011 Jun 24;59(2):121–37.

32. Romero MH, Uribe-Velásquez L, Sánchez J. Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. *Biosalud* [Internet]. 2011;10(1):71–87. Available from: [http://biosalud.ucaldas.edu.co/downloads/Biosalud10\(1\)\\_7.pdf](http://biosalud.ucaldas.edu.co/downloads/Biosalud10(1)_7.pdf)
33. Martinez A, Donoso E, Hernández RO, Sanchez JA, Romero MH. Assessment of animal welfare in fattening pig farms certified in good livestock practices. *Journal of Applied Animal Welfare Science*. 2022 Jan 4;1–13.
34. Broom DM. Transport stress in cattle and sheep with details of physiological, ethological and other indicators. *Dtsch Tierarztl Wochenschr*. 2003 Mar;110(3):83–9.
35. Broom DM. The effects of land transport on animal welfare. *Rev Sci Tech*. 2005 Aug;24(2):683–91.
36. Siegel PB, W.B. Gross. General Principles of Stress and Well-being. In: Grandin T, editor. *Livestock handling and transport*. 3rd ed. CAB International; 2007. p. 19–29.
37. Trevisi E, Bertoni G. Some physiological and biochemical methods for acute and chronic stress evaluation in dairy cows. *Ital J Anim Sci*. 2009 Jan 9;8(sup1):265–86.
38. Jr D, Wilson M. Physiological Indicators of Stress in Domestic Livestock 1 2. In: *Symposium on Concentrated Animal Feeding Operations Regarding Animal Behavior Care and Well-Being*. Indiana. Annals. Indiana; 2001.
39. Mormède P, Andanson S, Aupérin B, Beerda B, Guémené D, Malmkvist J, et al. Exploration of the hypothalamic–pituitary–adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiol Behav* [Internet]. 2007 Oct;92(3):317–39. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031938406005191>
40. Acevedo-Giraldo JD, Sánchez JA, Romero MH. Effects of feed withdrawal times prior to slaughter on some animal welfare indicators and meat quality traits in commercial pigs. *Meat Sci* [Internet]. 2020 Sep;167:107993. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174019303389>
41. Romero MH, Sanchez J. Evaluación de las buenas prácticas ganaderas en bovinos de carne en el centro de Caldas. *Biosalud*. 2011;10(1):52–60.
42. Romero MH, Uribe-Velásquez LF, Sanchez JA. Physiological profiles of Zebusts during transport and pre-slaughter. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 2014;27(4):282–9.
43. Miller DB, O’Callaghan JP. Neuroendocrine aspects of the response to stress. *Metabolism*. 2002 Jun;51(6):5–10.
44. Sapolsky RM, Romero LM, Munck AU. How Do Glucocorticoids Influence Stress Responses? Integrating Permissive, Suppressive, Stimulatory, and Preparative Actions\*. *Endocr Rev*. 2000 Feb 1;21(1):55–89.

45. Grandin T. Auditing animal welfare at slaughterplants. *MeatSci.* 2010 Sep;86(1):56–65.
46. Knowles T, Warriss P. Stress physiology of animals during transport. In: Grandin T, editor. *Livestock handling and transport.* 3 ed. Massachusetts: CAB International; 2006. p. 312–28.
47. Averós X, Knowles T, Brown SN, Warriss PD, Gosálvez LF. Factors affecting the mortality of pigs being transported to slaughter. *Veterinary Record* [Internet]. 2008 Sep;163(13):386–90. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1136/vr.163.13.386>
48. Hambrecht E, Eissen JJ, Newman DJ, Smits CHM, den Hartog LA, Verstegen MWA. Negative effects of stress immediately before slaughter on pork quality are aggravated by suboptimal transport and lairage conditions. *J Anim Sci* [Internet]. 2005 Feb 1;83(2):440–8. Available from: <https://academic.oup.com/jas/article/83/2/440/4790665>
49. Gupta S, Earley B, Crowe MA. Effect of 12-hour road transportation on physiological, immunological and haematological parameters in bull housed at different space allowances. *The Veterinary Journal.* 2007 May;173(3):605–16.
50. Blanco M, Casasús I, Palacio J. Effect of age at weaning on the physiological stress response and temperament of two beef cattle breeds. *Animal* [Internet]. 2009;3(1):108–17. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1751731108002978>
51. Buckham Sporer KR, Weber PSD, Burton JL, Earley B, Crowe MA. Transportation of young beef bulls alters circulating physiological parameters that may be effective biomarkers of stress. *J Anim Sci.* 2008 Jun 1;86(6):1325–34.
52. Davis AK, Maney DL, Maerz JC. The use of leukocyte profile to measure stress in vertebrates: a review for ecologists. *Funct Ecol.* 2008 Oct 20;22(5):760–72.
53. Stull CL, Rodiek A V. Physiological responses of horses to 24 hours of transport using a commercial van during summer conditions. *J Anim Sci.* 2000;78(6):1458.
54. Hofmaier F, Dinger K, Braun R, Sterner-Kock A. Range of blood lactate values in farm pigs prior to experimental surgery. *Lab Anim.* 2013 Apr 1;47(2):130–2.
55. Radostits, O.M., Gay, C.C., Blood, C.D. and Hinchcliff KW. *Veterinary Medicine, Textbook of the Disease of Cattle, Sheep, Pigs, Goats and Horses.* 9th editio. New York, USA: W.B. Saunders Company Ltd,; 2000. 2047–2050 p.
56. Nielsen SS, Alvarez J, Bicout DJ, Calistri P, Canali E, Drewe JA, et al. Welfare of pigs during transport. *EFSA Journal* [Internet]. 2022 Sep;20(9). Available from: <http://doi.wiley.com/10.2903/j.efsa.2022.7445>
57. J. A. Brown, T. S. Samarakone, T. Crowe, R. Bergeron, T. Widowski, J. A. Correa, et al. Temperature and Humidity Conditions in Trucks Transporting Pigs in Two Seasons in Eastern and Western Canada. *Trans ASABE* [Internet]. 2011;54(6):2311–8.

Available from:

<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=40650&CID=t2011&v=54&i=6&T=1>

58. Charkoudian N. Skin Blood Flow in Adult Human Thermoregulation: How It Works, When It Does Not, and Why. *Mayo Clin Proc.* 2003 May;78(5):603–12.
59. Haley C, Dewey CE, Widowski T, Friendship R. Association between in-transit loss, internal trailer temperature, and distance traveled by Ontario market hogs. *Can J Vet Res* [Internet]. 2008 Oct;72(5):385–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19086369>
60. Bjerg B, Brandt P, Pedersen P, Zhang G. Sows' responses to increased heat load – A review. *J Therm Biol.* 2020 Dec;94:102758.
61. Kingma B. The thermoneutral zone implications for metabolic studies. *Frontiers in Bioscience.* 2012;E4(5):518.
62. Sartor K, Barbosa ÂH, Santos J V., Morais FJO, Barros JSG, Schuarz D, et al. Skin temperature of piglets as a biosensor for controlling the heating system in creep with low power consumption. *Biosyst Eng.* 2021 Oct;210:104–14.
63. European Commission. *foodeuropa.* 2019. p. 7 Transport guide extreme temperatures. Available from: [https://food.ec.europa.eu/system/files/2019-11/aw\\_platform\\_plat-conc\\_extreme-temp-factsh-pigs.pdf](https://food.ec.europa.eu/system/files/2019-11/aw_platform_plat-conc_extreme-temp-factsh-pigs.pdf)
64. Cao M, Zong C, Wang X, Teng G, Zhuang Y, Lei K. Modeling of Heat Stress in Sows—Part 1: Establishment of the Prediction Model for the Equivalent Temperature Index of the Sows. *Animals.* 2021 May 20;11(5):1472.
65. Rodrigues VC, da Silva IJO, Vieira FMC, Nascimento ST. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *Int J Biometeorol* [Internet]. 2011 May 7;55(3):455–9. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00484-010-0344-y>
66. Ferguson DM, Warner RD. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants? *Meat Sci.* 2008 Sep;80(1):12–9.
67. Waiblinger S, Boivin X, Pedersen V, Tosi MV, Janczak AM, Visser EK, et al. Assessing the human–animal relationship in farmed species: A critical review. *Appl Anim Behav Sci.* 2006 Dec;101(3–4):185–242.
68. VISSER E, VANREENEN C, VANDERWERF J, SCHILDER M, KNAAP J, BARNEVELD A, et al. Heart rate and heart rate variability during a novel object test and a handling test in young horses. *Physiol Behav.* 2002 Jun 1;76(2):289–96.
69. Hemsworth PH. Human–animal interactions in livestock production. *Appl Anim Behav Sci.* 2003 May;81(3):185–98.

70. Herrán L, Romero M, Herrán L. Interacción Humano-Animal y Prácticas de Manejo Bovino en Subastas Colombianas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* [Internet]. 2017 Oct 11;28(3):571. Available from: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/13360>
71. Broom DM. Animal welfare: concepts and measurement. *J Anim Sci*. 1991 Oct 1;69(10):4167–75.
72. ICA ICA, FNG F, Agrosavia, Asobufalos, R MQ, Medrano Galarza C. Metodología para la evaluación de bienestar animal en las especies bovina y bufalina. 2022.
73. Rioja-Lang FC, Brown JA, Brockhoff EJ, Faucitano L. A Review of Swine Transportation Research on Priority Welfare Issues: A Canadian Perspective. *Front Vet Sci* [Internet]. 2019 Feb 22;6. Available from: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fvets.2019.00036/full>
74. Huff-Lonergan E, Lonergan SM. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci*. 2005 Sep;71(1):194–204.
75. Traore S, Aubry L, Gatellier P, Przybylski W, Jaworska D, Kajak-Siemaszko K, et al. Higher drip loss is associated with protein oxidation. *Meat Sci*. 2012 Apr;90(4):917–24.
76. Salmi B, Trefan L, Bünger L, Doeschl-Wilson A, Bidanel JP, Terlouw C, et al. Bayesian meta-analysis of the effect of fasting, transport and lairage times on four attributes of pork meat quality. *Meat Sci*. 2012 Mar;90(3):584–98.
77. Alarcon-Rojo A, Alvarado J, Grado-Ahuir J, Vidales H, Rodríguez-Almeida F. Efecto de variables críticas del sacrificio sobre las propiedades fisicoquímicas de la carne de cerdo. *Técnica Pecuaria en México*. 2006;
78. Wilhelmsson S, Andersson M, Hemsworth PH, Yngvesson J, Hultgren J. Human-animal interactions during on-farm truck loading of finishing pigs for slaughter transport. *Livest Sci*. 2023 Jan;267:105150.
79. Faucitano L, Schaefer AL, editors. *Welfare of pigs*. Brill | Wageningen Academic; 2008.
80. Velarde A, Fàbrega E, Blanco-Penedo I, Dalmau A. Animal welfare towards sustainability in pork meat production. *Meat Sci*. 2015 Nov;109:13–7.
81. Mota-Rojas D, Becerril-Herrera M, Roldan-Santiago P, Alonso-Spilsbury M, Flores-Peinado S, Ramírez-Necochea R, et al. Effects of long distance transportation and CO<sub>2</sub> stunning on critical blood values in pigs. *Meat Sci* [Internet]. 2012 Apr;90(4):893–8. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174011003834>
82. Heinz G, Srisuvan T. FAO.org. 2001. Directrices para el Manejo, Transporte y Sacrificio Humanitario del Ganado. Available from: <https://www.fao.org/3/X6909S/x6909s.htm>

83. Goumon S, Brown JA, Faucitano L, Bergeron R, Widowski TM, Crowe T, et al. Effectsoftransportdurationonmaintenancebehavior, heartrate and gastrointestinal tracttemperatureofmarket-weightpigs in 2 seasons1. *J AnimSci* [Internet]. 2013 Oct 1;91(10):4925–35. Availablefrom: <https://academic.oup.com/jas/article/91/10/4925/4717349>
84. Torrey S, Bergeron R, Widowski T, Lewis N, Crowe T, Correa JA, et al. Transportationofmarket-weightpigs: I. Effectofseason, trucktype, and locationwithintruckonbehaviorwith a two-hour transport1. *J AnimSci*. 2013 Jun 1;91(6):2863–71.
85. Ritter MJ, Ellis M, Bowman R, Brinkmann J, Curtis SE, DeDecker JM, et al. Effectsofseason and distance moved duringloadingontransportlossesofmarket-weightpigs in twocommerciallyavailabletypesof trailer1. *J AnimSci*. 2008 Nov 1;86(11):3137–45.
86. Miranda-de la Lama GC, Villarroel M, María GA. Livestocktransportfromtheperspectiveofthepre-slaughterlogisticchain: a review. *MeatSci* [Internet]. 2014 Sep;98(1):9–20. Availablefrom: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174014001077>
87. Fitzgerald RF, Stalder KJ, Matthews JO, Schultz Kaster CM, Johnson AK. Factorsassociatedwithfatigued, injured, and deadpigfrequencyduringtransport and lairage at a commercial abattoir1. *J AnimSci*. 2009 Mar 1;87(3):1156–66.
88. dalla Costa OA, Faucitano L, Coldebella A, Ludke JV, Peloso JV, dalla Roza D, et al. Effectsoftheseasonoftheyear, trucktype and locationontruckon skin bruises and meatquality in pigs. *LivestSci*. 2007 Mar;107(1):29–36.
89. McGlone J, Johnson A, Sapkota A, Kephart R. EstablishingBeddingRequirementsduringTransport and Monitoring Skin TemperatureduringCold and MildSeasons after TransportforFinishingPigs. *Animals* [Internet]. 2014 May 21;4(2):241–53. Availablefrom: <http://www.mdpi.com/2076-2615/4/2/241>
90. Romero MH, Sánchez JA, Acevedo-Giraldo JD. Efecto del Transporte de Cerdos de Ceba en la Incidencia de Cerdos Fatigados y Lesionados. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* [Internet]. 2017 Jan 17;27(4):658. Availablefrom: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/12573>
91. Guevara RD, Pastor JJ, Manteca X, Tedo G, Llonch P. Systematicreviewof animal-basedindicatorstomeasurethermal, social, and immune-related stress in pigs. Óvilo C, editor. *PLoSOne*. 2022 May 5;17(5):e0266524.
92. Ministerio de la Protección Social de Colombia M. Diario Oficial de la República, Resolución No 240. 2013. Reglamento que crea establece los requisitos sanitarios para el funcionamiento de las plantas de beneficio animal de las especies bovina, bufalina y



- porcina. Available from: [https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/R\\_MSPS\\_0240\\_2013.pdf](https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/R_MSPS_0240_2013.pdf)
93. Miranda-de la Lama GC. Transporte y logística pre-sacrificio: principios y tendencias en bienestar animal y su relación con la calidad de la carne. *Veterinaria México*. 2013;44(1):31–56.
  94. ICA ICA. ICA. Bogota; 2007. p. 20 Resolución 002640 de 28 de septiembre de 2007. Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado porcino destinado al sacrificio para consumo humano. Available from: <https://www.mincit.gov.co/getattachment/8ad6f08d-7024-4088-b0f3-e9594b244f99/Resolucion-2640-del-28-de-septiembre-de-2007-Por-l.aspx#:~:text=Los bultos de Page 8,condiciones adecuadas de humedad y>
  95. Ritter MJ, Ellis M, Brinkmann J, DeDecker JM, Keffaber KK, Kocher ME, et al. Effect of floor space during transport of market-weight pigs on the incidence of transport losses at the packing plant and the relationships between transport conditions and losses 1. *J Anim Sci*. 2006 Oct 1;84(10):2856–64.
  96. Kim DH, Woo JH, Lee CY. Effect of Stocking Density and Transportation Time of Market Pig on Their Behaviour, Plasma Concentrations of Glucose and Stress-associated Enzymes and Carcass Quality. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2004 Jan 1;17(1):116–21.
  97. Pérez MP, Palacio J, Santolaria MP, Aceña M del C, Chacón G, Verde MT, et al. Influence of lairage time on some welfare and meat quality parameters in pigs. *Vet Res [Internet]*. 2002 May;33(3):239–50. Available from: <http://www.edpsciences.org/10.1051/vetres:2002012>
  98. Rosenvold K, Andersen HJ. Factors of significance for pork quality—a review. *Meat Sci*. 2003 Jul;64(3):219–37.
  99. Andrew C Lenkaitis, Xinlei Wang, Ted L Funk, Michael Ellis, Christina M Murphy. Measurements of Thermal Microenvironment in a Swine Transport Trailer. In: *Livestock Environment VIII, 31 August - 4 September 2008, Iguassu Falls, Brazil*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers; 2008.
  100. P.J. Kettlewell, R.P. Hoxey, R.L. Hartshorn, I.R. Meeks, P. Twydell. Controlled ventilation system for livestock transport vehicles. In: *Livestock Environment VI, Proceedings of the 6th International Symposium 2001*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers;
  101. Norton T, Kettlewell P, Mitchell M. A computational analysis of a fully-stocked dual-mode ventilated livestock vehicle during ferry transportation. *Comput Electron Agric*. 2013 Apr;93:217–28.

102. Pardo Z, Seiquer I, Lachica M, Nieto R, Lara L, Fernández-Fígares I. Exposure of growing Iberian pig to heat stress and effects of dietary betaine and zinc on heat tolerance. *J Therm Biol* [Internet]. 2022 May;106:103230. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306456522000456>
103. Villarroel M, Barreiro P, Kettlewell P, Farish M, Mitchell M. Time derivatives in air temperature and enthalpy as non-invasive welfare indicators during long distance animal transport. *Biosyst Eng* [Internet]. 2011 Nov;110(3):253–60. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1537511011001267>
104. Kyriazakis I, Whittemore CT, editors. *Whittemore's Science and Practice of Pig Production*. Wiley; 2006.
105. José Antonio Delfino Barbosa Filho, Frederico Marcio Correia Vieira, Bruno Henrique Fonseca, Iran José Oliveira Silva, Danilo Brito Garcia, Aaron Hildebrand. Poultry Transport Microclimate Analysis through Enthalpy Comfort Index (ECI): A Seasonal Assessment. In: *Livestock Environment VIII, 31 August - 4 September 2008, Iguassu Falls, Brazil*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers; 2008.
106. Goldhawk C, Crowe T, Janzen E, González LA, Kastelic J, Pajor E, et al. Trailer microclimate during commercial transportation of feeder cattle and relationship to indicators of cattle welfare 1,2. *J Anim Sci*. 2014 Nov 1;92(11):5155–65.
107. McGlone J, Johnson A, Sapkota A, Kephart R. Temperature and Relative Humidity Inside Trailers During Finishing Pig Loading and Transport in Cold and Mild Weather. *Animals* [Internet]. 2014 Sep 29;4(4):583–98. Available from: <http://www.mdpi.com/2076-2615/4/4/583>
108. Ministerio de la Protección Social. Decreto 1500 De 2007. *Control*. 2007;2007(Mayo 9):1–41.
109. IDEAM. Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos [Internet]. 2022 [cited 2022 Aug 2]. Available from: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
110. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. GOV.CO. 2022 [cited 2022 Aug 10]. Datos Abiertos Del Gobierno Colombiano. Available from: <https://www.datos.gov.co/browse?category=Estadísticas+Nacionales>
111. Ritter MJ, Ellis M, Anderson DB, Curtis SE, Keffaber KK, Killefer J, et al. Effects of multiple concurrent stressors on rectal temperature, blood acid-base status, and longissimus muscle glycolytic potential in market-weight pigs 1. *J Anim Sci* [Internet]. 2009 Jan 1;97(1):351–62. Available from: <http://academic.oup.com/jas/article/87/1/351/4731282>
112. Pilcher CM, Ellis M, Rojo-Gómez A, Curtis SE, Wolter BF, Peterson CM, et al. Effects of floor space during transport and journey time on indicators of stress and

- transportlossesofmarket-weight pigs1. *J AnimSci* [Internet]. 2011 Nov 1;89(11):3809–18. Availablefrom: <http://academic.oup.com/jas/article/89/11/3809/4789655>
113. Ministerio de Salud y Protección social /Colombia. Resolución 0000240 de 2013. [Internet]. 2013. Availablefrom: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0240-de-2013.pdf>
  114. Lucas EM, Randall JM, Meneses JF. Potentialfor Evaporative CoolingduringHeat Stress Periods in PigProduction in Portugal (Alentejo). *JournalofAgriculturalEngineeringResearch*. 2000 Aug;76(4):363–71.
  115. Faucitano L, Saucier L, Correa JA, Méthot S, Giguère A, Foury A, et al. Effectoffeedtexture, mealfrequency and pre-slaughterfastingoncarcass and meatquality, and urinary cortisol in pigs. *MeatSci* [Internet]. 2006 Dec;74(4):697–703. Availablefrom: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030917400600180X>
  116. Tomovic VM, Zlender BA, Jokanović MR, Tomovic MS, Sojic BV, Skaljic SB, et al. Technologicalquality and compositionofthe M. semimembranosus and M. longissimusdorsifromLarge White and LandracePigs. *Agricultural and FoodScience* [Internet]. 2014 Feb 25;23(1):9–18. Availablefrom: <https://journal.fi/afs/article/view/8577>
  117. Miranda-de la Lama G. Transporte y Bienestar Animal: Un enfoque integrador. 2019.
  118. Hernandez RO, Romero MH, Sanchez JA. Assessmentofslaughterhouse-basedmeasures as animal welfareindicators in fatteningpigs. *Frontiers in Animal Science*. 2023 Feb 2;4.
  119. Zurbrigg K, van Dreumel T, Rothschild MF, Alves D, Friendship R, O’Sullivan T. Pig-levelriskfactorsforin-transitlosses in swine: a review. *Can J AnimSci*. 2017 Jan 18;CJAS-2016-0193.
  120. Somnavilla R, Faucitano L, Gonyou H, Seddon Y, Bergeron R, Widowski T, et al. Season, TransportDuration and TrailerCompartmentEffectsonBlood Stress Indicators in Pigs: RelationshiptoEnvironmental, Behavioral and OtherPhysiologicalFactors, and PorkQualityTraits. *Animals*. 2017 Feb 8;7(12):8.
  121. Mitchell MA, Kettlewell PJ. Engineering and designofvehiclesforlongdistanceroadtransportoflivestock (ruminants, pigs and poultry). *VetItal*. 2008;44(1):201–13.
  122. Silva-Miranda KO da, Borges G, Menegale VL de C, Silva IJO da. Efeito das condiçõesambientais no nível de ruído emitido por leitões. *Engenharia Agrícola*. 2012 Jun;32(3):435–45.
  123. Pereira TL, Titto EAL, Conte S, Devillers N, Somnavilla R, Diesel T, et al. Applicationof a ventilation fan-mistingbankonpigskept in a stationarytrailerbeforeunloading: Effectsontrailermicroclimate, and pigbehaviour and physiological response. *LivestSci*

- [Internet]. 2018 Oct;216:67–74. Available from:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1871141318302269>
124. A. Haeussermann, E. Vranken, J.-M. Aerts, E. Hartung, T. Jungbluth, D. Berckmans. Evaluation of Control Strategies for Fogging Systems in Pig Facilities. *Trans ASABE* [Internet]. 2007;50(1):265–74. Available from:  
<http://elibrary.asabe.org/abstract.asp??JID=3&AID=22407&CID=t2007&v=50&i=1&T=1>
  125. Olczak K, Nowicki J, Klocek C. Pig behaviour in relation to weather conditions – a review. *Annals of Animal Science* [Internet]. 2015 Jul 1;15(3):601–10. Available from:  
<https://www.sciendo.com/article/10.1515/aoas-2015-0024>
  126. Lürzel S, Münsch C, Windschnurer I, Futschik A, Palme R, Waiblinger S. The influence of gentle interaction on avoidance distance toward humans, weight gain and physiological parameters in group-housed dairy calves. *Appl Anim Behav Sci* [Internet]. 2015 Nov;172:9–16. Available from:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168159115002610>
  127. Mota-Rojas D, Broom DM, Orihuela A, Velarde A, Napolitano F, Alonso-Spilsbury M. Effects of human-animal relationship on animal productivity and welfare. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology* [Internet]. 2020;8(3):196–205. Available from:  
<https://www.jabbnet.com/article/doi/10.31893/jabb.20026>
  128. Leon AF, Sanchez JA, Romero MH. Association between Attitude and Empathy with the Quality of Human-Livestock Interactions. *Animals* [Internet]. 2020 Jul 30;10(8):1304. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/8/1304>
  129. Correa JA. Effects of farm handling and transport on physiological response, losses and meat quality of commercial pigs. *Biology (Basel)*. 2011;
  130. Correa JA, Gonyou HW, Torrey S, Widowski T, Bergeron R, Crowe TG, et al. Welfare and carcass and meat quality of pigs being transported for two hours using two vehicle types during two seasons of the year. *Can J Anim Sci* [Internet]. 2013 Mar;93(1):43–55. Available from:  
<http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.4141/cjas2012-088>
  131. Kumar P, Ahmed MA, Abubakar AA, Hayat MN, Kaka U, Ajat M, et al. Improving animal welfare status and meat quality through assessment of stress biomarkers: A critical review. *Meat Sci* [Internet]. 2023 Mar;197:109048. Available from:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174022003163>
  132. Rey-Salgueiro L, Martinez-Carballo E, Fajardo P, Chapela MJ, Espiñeira M, Simal-Gandara J. Meat quality in relation to swine well-being after transport and during lairage at the slaughterhouse. *Meat Sci* [Internet]. 2018 Aug;142:38–43. Available from:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174017315103>

133. Renaudeau D, Mandonnet N, Tixier-Boichard M, Noblet J, Bidanel JP. Attenuate the effects of high ambient temperature on pig performance: The genetic selection. *Productions Animales*. 2004 May 1;17:93–108.
134. Rocha LM, Devillers N, Maldague X, Kabemba FZ, Fleuret J, Guay F, et al. Validation of Anatomical Sites for the Measurement of Infrared Body Surface Temperature Variation in Response to Handling and Transport. *Animals* [Internet]. 2019 Jul 6;9(7):425. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/7/425>
135. Requejo JM, Garrido-Izard M, Correa EC, Villarroel M, Diezma B. Pig ear skin temperature and feed efficiency: Using the phasespace to estimate the thermoregulatory effort. *Biosyst Eng* [Internet]. 2018 Oct;174:80–8. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1537511018300576>
136. Andersen HML, Jørgensen E, Dybkjær L, Jørgensen B. The ear skin temperature as an indicator of the thermal comfort of pigs. *Appl Anim Behav Sci* [Internet]. 2008 Sep;113(1–3):43–56. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168159107003632>
137. Grandin T. American Meat Institute, Washington, DC. USA. 2021 [cited 2021 Feb 1]. Recommended Animal Handling Guidelines & Audit Guide (2005 Edition With 2007 and 2010 Updates). Available from: <http://animalhandling.org/sites/default/files/forms/animal-handling-guidelines->
138. Huynh TTT, Aarnink AJA, Heetkamp MJW, Verstegen MWA, Kemp B. Evaporative heat loss from group-housed growing pigs at high ambient temperatures. *J Therm Biol* [Internet]. 2007 Jul;32(5):293–9. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306456507000368>
139. Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest Sci* [Internet]. 2010 May;130(1–3):57–69. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1871141310000740>
140. Zhao Y, Xin H, Harmon JD, Bass TJ. Mortality Rate of Weaned and Feeder Pigs as Affected by Ground Transport Conditions. *Trans ASABE* [Internet]. 2016 Aug 11;59(4):943–8. Available from: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=47309&t=3&dabs=Y&redir=&redirType=>
141. Goumon S, Faucitano L. Influence of loading handling and facilities on the subsequent response to pre-slaughter stress in pigs. *Livest Sci* [Internet]. 2017 Jun;200:6–13. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1871141317300987>
142. Jama N, Maphosa V, Hoffman LC, Muchenje V. Effect of sex and time to slaughter (transportation and lairage duration) on the levels of cortisol, creatine kinase and

- subsequent relationship with pork quality. *MeatSci* [Internet]. 2016 Jun;116:43–9. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174016300183>
143. Edwards LN, Grandin T, Engle TE, Porter SP, Ritter MJ, Sosnicki AA, et al. Use of exsanguination blood lactate to assess the quality of pre-slaughter pig handling. *MeatSci* [Internet]. 2010 Oct;86(2):384–90. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030917401000207X>
  144. Anderson DB. Relationship of blood lactate and meat quality in market hogs. In: Presentation at the Reciprocal Meat Conference Lubbock [Internet]. Lubbock, TX.; 2010. Available from: <http://fass.acrobat.com/p86799506/>
  145. Edwards LN, Grandin T, Engle TE, Ritter MJ, Sosnicki AA, Carlson BA, et al. The effects of pre-slaughter pig management from the farm to the processing plant on pork quality. *MeatSci* [Internet]. 2010 Dec;86(4):938–44. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174010002998>
  146. Faucitano L, Goumon S. Transport of pig to slaughter and associated handling. In: *Advances in Pig Welfare* [Internet]. Elsevier; 2018. p. 261–93. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081010129000095>
  147. Romero MH, Uribe-Velásquez LF, Sánchez JA, Rayas-Amor AA, Miranda-de la Lama GC. Conventional versus modern abattoirs in Colombia: Impact on welfare indicators and risk factors for high muscle pH in commercial Zebu young bulls. *MeatSci* [Internet]. 2017 Jan;123:173–81. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174016303576>
  148. Garcia A, Sutherland M, Pirner G, Picinin G, May M, Backus B, et al. Impact of Providing Feed and/or Water on Performance, Physiology, and Behavior of Weaned Pigs during a 32-h Transport. *Animals* [Internet]. 2016 May 3;6(5):31. Available from: <http://www.mdpi.com/2076-2615/6/5/31>
  149. Haley C, Dewey CE, Widowski T, Poljak Z, Friendship R. Factors associated with in-transit losses of market hogs in Ontario in 2001. *Can J Vet Res* [Internet]. 2008 Oct;72(5):377–84. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19086368>
  150. Carr SN, Gooding J, Rincker PJ, Hamilton D, Ellis M, Killefer J, et al. A survey of pork quality of downer pigs. *Journal of Muscle Foods*. 2005 Sep 28;16:298–305.
  151. Johnson AK, Gesing LM, Ellis M, McGlone JJ, Berg E, Lonergan SM, et al. 2011 AND 2012 EARLY CAREERS ACHIEVEMENT AWARDS: Farm and pig factors affecting welfare during the marketing process 1,2. *J Anim Sci* [Internet]. 2013 Jun 1;91(6):2481–91. Available from: <https://academic.oup.com/jas/article/91/6/2481/4717015>
  152. Benjamin M. Pig Trucking & Handling - Stress and Fatigued Pig. In 2005. Available from: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:21062146>

153. Schwartzkopf-Genswein KS, Faucitano L, Dadgar S, Shand P, González LA, Crowe TG. Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: A review. *MeatSci* [Internet]. 2012 Nov;92(3):227–43. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174012001234>
154. Tasse M El, Molento CFM. Injury and condemnation data of pigs at slaughterhouses with federal inspection in the State of Paraná, Brazil, as indicators of welfare during transportation. *Ciência Rural*. 2019;49(1).
155. Romero MH, Sanchez JA, Martínez Hoyos R. Factores asociados con la frecuencia de cerdos muertos durante el transporte a una planta de beneficio. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 2015;10(2):132–40.
156. Ritter MJ, Ellis M, Bertelsen CR, Bowman R, Brinkmann J, DeDecker JM, et al. Effects of distance moved during loading and floor space on the trailer during transport on losses of market weight pigson arrival at the packing plant 1. *J Anim Sci* [Internet]. 2007 Dec 1;85(12):3454–61. Available from: <https://academic.oup.com/jas/article/85/12/3454/4778909>
157. Liang Y, Xu Y, Lai D, Hua G, Huang D, Wang H, et al. Emerging market for pork with animal welfare attribute in China: An ethical perspective. *MeatSci* [Internet]. 2023 Jan;195:108994. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174022002625>
158. Ortega DL, Chen M, Wang HH, Shimokawa S. Emerging Markets for U.S. Pork in China: Experimental Evidence from Mainland and Hong Kong Consumers. *Journal of Agricultural and Resource Economics* [Internet]. 2017 Oct 4;42(2):275–90. Available from: <http://www.jstor.org/stable/44329754>
159. Terlouw C. Stress reactions at slaughter and meat quality in pigs: genetic background and prior experience. *Livest Prod Sci* [Internet]. 2005 Jun;94(1–2):125–35. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030162260400274X>
160. Terlouw EMC, Picard B, Deiss V, Berri C, Hocquette JF, Lebret B, et al. Understanding the Determination of Meat Quality Using Biochemical Characteristics of the Muscle: Stress at Slaughter and Other Missing Keys. *Foods* [Internet]. 2021 Jan 4;10(1):84. Available from: <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/1/84>
161. Jia X, Ekman M, Grove H, Færgestad EM, Aass L, Hildrum KI, et al. Proteome Changes in Bovine Longissimus Thoracis Muscle During the Early Postmortem Storage Period. *J Proteome Res* [Internet]. 2007 Jul 1;6(7):2720–31. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/pr070173o>
162. Barbut S, Sosnicki AA, Lonergan SM, Knapp T, Ciobanu DC, Gatcliffe LJ, et al. Progress in reducing the pale, soft and exudative (PSE) problem in pork and poultry meat. *MeatSci*

- [Internet]. 2008 May;79(1):46–63. Available from:  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309174007002732>
163. Dalla Costa FA, Dalla Costa OA, Coldebella A, de Lima GJMM, Ferraudo AS. How do season, on-farm fasting interval and lairage period affect swine welfare, carcass and meat quality traits? *Int J Biometeorol* [Internet]. 2019 Nov 19;63(11):1497–505. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00484-018-1527-1>
  164. Wang Y, Zhang H, Yan E, He L, Guo J, Zhang X, et al. Carcass and meat quality traits and their relationships in Duroc × Landrace × Yorkshire barrows slaughtered at various seasons. *Meat Sci.* 2023 Apr;198:109117.
  165. Čobanović N, Stajković S, Blagojević B, Betić N, Dimitrijević M, Vasilev D, et al. The effect of season on health, welfare, and carcass and meat quality of slaughter pigs. *Int J Biometeorol* [Internet]. 2020 Nov 30;64(11):1899–909. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s00484-020-01977-y>