

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

ESCUELA DE ZOOTECNIA

Efecto de la utilización de carbonato de potasio, vitamina C, selenio, betaína y cromo en forma de coctel sobre los parámetros productivos, el bienestar y calidad de la carne en pollos de engorde con estrés calórico.

Mónica Andrea Castro Espinoza

Tesis presentada para optar por el título en el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2020

HOJA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia.



M.Sc. Rebeca Zamora Sanabria

Directora de tesis



M.Sc. Alejandro Chacón Villalobos

Miembro del tribunal



Ph.D. Andrea Molina Alvarado

Miembro del tribunal



Lic. Humberto Ugalde Bogantes

Miembro del tribunal



M.Sc. Rodolfo Wing Ching-Jones

Director de Escuela



Mónica Andrea Castro Espinoza

Sustentante

DEDICATORIA

Principalmente a Dios.

A mis padres Sigifredo Castro Calderón y Roxana Espinoza Pacheco.

A mis hermanas Carolina, Valeria y Nathalia.

Y a mis abuelos Juan Espinoza, Marielos Pacheco, Maria Elena Calderón y Sigifredo Castro.

Porque me han hecho la mujer que soy ahora, con su ejemplo, enseñanza y amor; y a ustedes les debo esto.

AGRADECIMIENTOS

Quiero iniciar agradeciendo profundamente al equipo de Investigación y desarrollo de Cargill, Humberto Ugalde Bogantes, Marlon Menjívar Miranda, Paula Leal y Jimena Orozco Astúa, por darme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto y por brindarme todo el apoyo y confianza, de igual forma, a Don Jorge Camacho por la ayuda y asesoría en la parte estadística del experimento.

Le doy infinitas gracias a mi novio Maikol Astúa, que siempre me ha apoyado y motivado a dar lo mejor de mí, no sólo durante este proyecto, sino también a lo largo de toda nuestra carrera.

Gracias a la profesora Rebeca Zamora, por ser la mejor tutora, docente y persona y brindarme su guía y ayuda durante todo el proyecto, y a su esposo don Sergio Monge, por la ayuda brindada durante la fase final del proyecto y por la motivación a seguir adelante con el proceso de formación. También al profesor Rodolfo Wing Ching por su colaboración, amabilidad y su indudable interés en el proyecto.

Del personal de Cargill, agradezco a los muchachos de la granja y a los de la cuadrilla de lavado y desinfección, por la constante ayuda brindada a lo largo del proyecto y a Silvia Vargas del departamento de Calidad por su apoyo y colaboración a la hora de realizar muestreos durante el proceso. También a los muchachos de la planta de alimentos por la colaboración brindada durante la elaboración de los alimentos y por la ayuda brindada para la obtención y verificación de los tratamientos, en especial a Rodrigo Gómez Martínez por su grata colaboración.

Este proyecto no hubiera sido posible sin la colaboración del Instituto Tecnológico de Costa Rica, al cual le doy las gracias por facilitar las instalaciones y equipos para la realización de las pruebas y de forma especial agradezco a Don Julio Rodríguez del área de calidad de carne por su apoyo y asesoría durante estos procesos.

De igual forma, agradezco al laboratorio de microbiología del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) y al Centro de Investigación en Enfermedades Tropicales de la Facultad de Microbiología (CIET), por facilitar las instalaciones y equipos para la realización de pruebas y obtención de resultados varios.

Gracias a todo el personal docente y administrativo de la Escuela de Zootecnia, empezando con Águeda Serrano, por el apoyo, ánimo y motivación brindado a lo largo de la carrera; a María Fernanda Solano, por siempre estar atenta y anuente a tender una mano a los estudiantes. Agradezco a Max Porras por la ayuda brindada durante mi vida universitaria y a lo largo del proyecto, al profesor Alejandro Chacón por su excelente ejemplo como persona y profesional y a la profesora Andrea Molina y a Ricardo Villalobos por el trabajo, colaboración y las horas invertidas durante la etapa de análisis en laboratorio.

Agradezco de corazón a mi familia, en especial a mi hermana Nathalia por su apoyo y ayuda incondicional en la preparación del material para la toma de muestras.

Por último, gracias a mis amigos y colegas Andrés Cavanillas, Marco Martínez, André Cedeño, Erick Arce y a mi mejor amiga Maricruz Campos, por su amistad, apoyo, ánimo y la ayuda que me brindaron durante todo el proceso de investigación y a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
PORTADA.....	i
HOJA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Efectos fisiológicos del estrés de calor.....	6

2.1.1 Respuesta fisiológica al estrés de calor.....	8
2.2 Efectos en producción.....	8
2.3 Medidas de mitigación al estrés calórico en los pollos.....	9
2.3.1 Instalaciones.....	9
2.3.2 Agua.....	11
2.3.3 Manejo.....	11
2.3.4 Nutrición.....	11
2.3.4.1 Aditivos.....	12
2.3.4.1.1 Betaína.....	12
2.3.4.2 Minerales.....	14
2.3.4.2.1 Cromo.....	14
2.3.4.2.2 Selenio.....	15
2.3.4.2.3 Carbonato de potasio.....	16

2.3.4.3 Antioxidantes.....	17
2.3.4.4 Vitaminas.....	17
2.4 Bienestar animal.....	18
2.5 Calidad de la carne.....	20
3. OBJETIVOS.....	22
3.1 Objetivo general.....	22
3.2 Objetivos específicos.....	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
4.1 Animales y alojamiento.....	23
4.2 Procedimiento general.....	28
4.3 Rendimientos productivos.....	30
4.4 Calidad de la carne.....	31
4.5 Bienestar animal.....	32

4.6 Análisis estadístico.....	35
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
5.1 Zonas experimentales.....	38
5.2 Efecto de los tratamientos en los rendimientos productivos.....	39
5.2.1 Efecto de la zona experimental sobre los rendimientos productivos.....	39
5.2.2 Efecto de la inclusión de aditivos en la dieta sobre los rendimientos productivos.....	42
5.2.3 Efecto de la zona experimental en los rendimientos en canal...	49
5.2.4 Efecto de la inclusión de aditivos en la dieta sobre los rendimientos en canal.....	51
5.3 Efecto de los tratamientos en la calidad de la carne.....	53
5.3.1 Efecto de la zona experimental sobre peso de pechuga y sobre el porcentaje de pérdida de líquido.....	54
5.3.2 Efecto de la inclusión de aditivos en la dieta sobre el porcentaje de pérdida de líquido.....	55

5.3.3 Efecto de la interacción del factor inclusión de aditivos en la dieta y el factor zona experimental sobre el porcentaje de pérdida de líquido.....	57
5.3.4 Efecto de la zona experimental sobre el pH de las pechugas....	58
5.3.5 Efecto de la inclusión de aditivos en la dieta sobre el pH de las pechugas.....	59
5.3.6 Efecto de la interacción del factor inclusión de aditivos en la dieta y el factor zona experimental sobre el pH de las pechugas.....	60
5.4 Indicadores de bienestar animal.....	61
5.4.1 Corticosterona en sangre.....	61
5.4.1.1 Efecto de la interacción del factor inclusión de aditivos en la dieta y el factor zona experimental sobre la concentración de corticosterona.....	61
5.4.2 Temperatura corporal.....	63
5.4.2.1 Efecto de la zona experimental sobre la temperatura corporal.....	63
5.4.3 Comportamiento.....	64

5.4.3.1 Efecto de la zona experimental sobre el comportamiento.....	64
5.4.3.2 Efecto de la inclusión de aditivos en la dieta sobre el comportamiento.....	66
5.4.3.3 Efecto de la interacción del factor inclusión de aditivos en la dieta y el factor zona experimental sobre el comportamiento.....	68
5.4.4 Termografía.....	70
5.4.4.1 Efecto de la zona experimental sobre la termografía...	70
6. CONCLUSIONES.....	72
7. RECOMENDACIONES.....	73
8. LITERATURA CITADA.....	74

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Sensación térmica según la velocidad de aire.....	4
2	Presiones de agua utilizadas en el experimento según el manual Cobb-Vantress.....	24
3	Temperatura ambiental según la humedad relativa recomendada por el manual Cobb-Vantress para condiciones óptimas.....	24
4	Velocidad máxima recomendada por el manual Cobb-Vantress (2018), para condiciones óptimas.....	25
5	Programa de temperatura ambiental para toda la galera utilizado en el experimento.....	25
6	Fases de alimentación y cantidad recomendada por fase según el manual Cobb-Vantress utilizado en el experimento.....	28
7	Porcentaje de inclusión en el alimento y dosis de los aditivos del coctel utilizados en el experimento.....	29
8	Distribución de los tratamientos evaluados según porcentaje de inclusión y zona experimental.....	30
9	Etograma desarrollado para el experimento.....	35

10	Rendimientos productivos acumulados semanales, según la zona experimental.....	40
11	Rendimientos productivos semanales acumulados obtenidos de acuerdo con el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta.....	43
12	Rendimientos en canal obtenidos de acuerdo a la zona experimental....	50
13	Rendimientos en canal obtenidos según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta.....	51
14	Peso de las pechugas y porcentaje de la pérdida de líquido por cocción, obtenidos según la zona experimental.....	54
15	Porcentaje de la pérdida de líquido de las pechugas por cocción obtenido según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta.....	56
16	Porcentajes de pérdida de líquido por cocción de pechugas según la inclusión de aditivos en la dieta y la zona experimental.....	57
17	Valores de pH y temperatura de las pechugas según la zona experimental.....	58
18	Valores de pH y temperatura de las pechugas de acuerdo al porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta.....	59
19	Valores de pH y temperatura de las pechugas según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta y la zona experimental.....	61

20	Concentración de corticosterona según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta y la zona experimental.....	62
21	Etogramas obtenidos según la zona experimental.....	65
22	Etogramas por edad según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta.....	67
23	Etogramas por edad según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta y la zona experimental.....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Termorregulación en aves.....	5
2	Betaína y ruta de transmetilación en el ciclo de la metionina.....	13
3	Fotografía termográfica de dos pollitos en una galera, el de color amarillo (debajo de la lámpara de calefacción) y el oscuro (lejos de la lámpara).....	19
4	Esquema de la galera experimental, ubicación de las zonas experimentales y de los corrales.....	23
5	Temperaturas ambientales promedio de las dos zonas experimentales.....	26
6	Humedades relativas promedio en ambas zonas experimentales.....	27
7	Velocidad de aire (m/s) promedio de las dos zonas experimentales.....	27
8	Distribución de los bloques y corrales dentro de la galera experimental.....	34
9	Promedio del Índice de temperatura y humedad (ITHI) (A) e Índice de temperatura, humedad y velocidad del viento (ITHVI) (B) semanales en las dos zonas experimentales (fresca y caliente).....	38

10	Promedio de las temperaturas corporales, (A) Temperatura Axilar y (B) Temperatura Cloacal en las dos zonas experimentales (fresca y caliente) obtenidas durante las 5 semanas.....	63
11	Fotografías termográficas tomadas durante todo el ciclo productivo a las instalaciones (A) Bloque de corrales y (B) Corral individual en las dos zonas experimentales (fresca y caliente).....	70
12	Promedio de las temperaturas superficiales obtenidas por la cámara termográfica de los diferentes (A) bloques y (B) corrales en ambas zonas experimentales (fresca y caliente) durante todo el ciclo productivo.....	71

RESUMEN

Los factores climáticos en los países tropicales afectan los rendimientos productivos de los animales y su bienestar. En Costa Rica los pollos de engorde se mantienen buena parte de su crianza bajo estrés calórico, debido a las altas temperaturas y humedades relativas ambientales y a que se mantienen en instalaciones abiertas. Existe poca información nacional publicada sobre el comportamiento de los pollos de engorde bajo condiciones de estrés de calor. Por estos motivos se evaluó el efecto de una premezcla de carbonato de potasio, vitamina C, selenio, betaína y cromo en pollos de engorde en condiciones de estrés calórico. El experimento se realizó en una galera de ambiente controlado. Los tratamientos se dividieron por zona fresca (28,30-32,03°C y 68-85%HR) y zona caliente (29,30-34,08°C y 67-84%HR), y nivel de inclusión de la premezcla (0%, 25% (0,650kg/ton), 50% (1,250kg/ton), 75% (1,849kg/ton), y 100% (2,448kg/ton) distribuidos en parcelas divididas. Por zona, 3 baterías con 10 corrales por batería, y 50 pollos Cobb 500 por corral. La temperatura ambiental, la humedad relativa y la velocidad de viento se midieron 3 veces al día por zona. El cálculo de los rendimientos productivos, la realización de etogramas y la medición de las temperaturas corporales se realizó una vez por semana. Las concentraciones de corticosterona en sangre se midieron en la semana 2 y 5 de edad. Las pruebas de calidad de carne se realizaron con 10 pechugas por tratamiento, a las cuales se les midió pH, retención de agua post cocción y fuerza de corte. En la zona caliente, se obtuvieron menores rendimientos productivos en la semana 4 y 5 de edad, además se observó un aumento en las temperaturas corporales de los pollos y una disminución en los rendimientos de pechuga, con respecto a la zona fresca. La inclusión de la premezcla en un 100% evidenció mayores rendimientos productivos con respecto al control (0%), con la inclusión del 25% de premezcla también se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en conversión alimenticia, rendimientos de canal, rendimiento de pechuga entera y de filete. La utilización del 75% de inclusión generó menores pérdidas de líquido por cocción de la pechuga. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la concentración de corticosterona en sangre, temperaturas corporales, comportamiento de los pollos según la inclusión de la premezcla en el alimento. En los etogramas se observó que los pollos en la zona caliente, durante las semanas 4 y 5, se mantuvieron en un menor porcentaje estirados y echados, dichas diferencias fueron numéricas, pero un mayor porcentaje se observaron visitando los bebederos, con respecto a la zona fresca ($p < 0,10$), desde la semana 3 a la 5. La inclusión del 100% de la premezcla redujo significativamente ($p < 0,10$) el porcentaje de

pollos usando los bebederos en la semana 5 de edad. La concentración de corticosterona promedio en sangre obtenida en la zona caliente fue de 823,73pg/mL en la semana 2 de edad y 581,14pg/mL en la semana 5 y en la zona fresca 955,94pg/mL en la semana 2 de edad y 609,77pg/mL en la semana 5 ($p>0,05$). Los resultados de este estudio mostraron que la premezcla para el estrés calórico tuvo efecto significativo en los rendimientos productivos, rendimientos en canal y en el comportamiento de consumo de agua. Indicadores de bienestar como la temperatura corporal y el comportamiento de los pollos fueron de utilidad para evaluar las condiciones de alojamiento y su bienestar.

1. INTRODUCCIÓN

En los países tropicales, el principal impedimento fisiológico para la producción de aves de corral es el estrés calórico (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2014), factores climáticos como las olas de calor, la humedad relativa y la temperatura, pueden causar pérdidas en la producción de pollos de engorde, en forma de altas mortalidades y bajos rendimientos productivos, ya que el animal se ve perjudicado en el mantenimiento de su temperatura corporal (Lisboa y Luis, 2012; Vale, Moura, Nääs y Pereira, 2010).

La temperatura ideal para que el pollo de engorde crezca adecuadamente, expresando su máximo potencial genético, es la zona termoneutral (zona confort) entre 18-24°C de temperatura ambiental (Martín, Almeida y Léo, 2017), la cual se define como el rango donde el sistema termorregulador del ave no se activa, es decir, no usa energía para producir calor ni para disiparlo (Dalólio et al., 2015). Cuando la temperatura ambiental es más alta que la zona de confort, el animal entra en estrés calórico. Por lo tanto, su cuerpo reacciona para eliminar el calor del organismo usando mecanismos como la radiación, la convección y la evaporación, y así, lograr el enfriamiento del cuerpo (Mello et al., 2015).

En condiciones de estrés calórico, las aves presentan síntomas como jadeo, estiramiento de alas, disminución en el consumo de alimento y pérdida de peso. En condiciones de estrés por frío, intentan mantener su temperatura aumentando su producción de calor y energía para reducir las pérdidas de calor (Hernandez et al., 2016). El estrés calórico puede afectar a las aves en forma aguda y crónica. La forma crónica se da cuando el animal está en un ambiente superior a 32°C, provocando que se incremente su consumo de agua y disminuyendo el consumo de alimento entre 1% y 1,5% por cada 1°C de aumento en la temperatura. La forma aguda, por otro lado, ocurre cuando el animal se encuentra entre 38-40°C con humedades relativas de 50-55%, provocando que la temperatura del animal alcance los 45-48°C, induciendo a la muerte por golpe o estrés de calor (Lisboa y Luis, 2012).

La exposición de los pollos de engorde a una temperatura ambiental de 30°C, desde las 4 semanas de edad hasta el sacrificio, produce como resultado, la disminución de la tasa de crecimiento, como consecuencia de la reducción del consumo de alimento. Además, la exposición a temperaturas de más de 32°C, conlleva a una disminución en la digestión de los

nutrientes, ya que, existe una reducción del flujo sanguíneo al sistema digestivo (Mello et al., 2015).

Otros efectos en los animales por el estrés calórico son la reducción del metabolismo, como consecuencia de la disminución de la secreción de las hormonas tiroideas, una deficiente respuesta inmune por atrofas de los órganos linfoides y un aumento de la peroxidación lipídica, afectando la calidad de la canal (Dalólio et al., 2015). La calidad de la carne también se ve afectada por mayor presencia de carne PSE (pálida, suave y exudativa) (Vale et al., 2010).

El manejo nutricional es una forma efectiva para minimizar el efecto ocasionado por el estrés calórico en la producción avícola, ya que, el cambio en las instalaciones es una alternativa costosa y más lenta, que muchos productores no pueden costear. Por ende, la nutrición constituye una alternativa viable que permite proporcionar nutrientes o aditivos que mitiguen los efectos negativos del calor, como los suplementos vitamínicos, entre otros (Dalólio et al., 2015).

Costa Rica se ubica en una zona de características tropicales (Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2017), como lo son las altas temperaturas y humedades relativas. Estas condiciones pueden afectar la productividad de los pollos de engorde (Mello et al., 2015). Según la FAO (2014) en zonas tropicales, muchas instalaciones o unidades productivas de carácter intensivo utilizan galeras abiertas sin sistemas de control ambiental debido al alto costo de inversión. Esto impide mejorar las condiciones de temperatura y humedad ambiental y maximizar el potencial de sus animales (Acebal, Deluchi y Melo, 2018). El acondicionamiento de los microambientes que necesitan los pollos de engorde es un factor limitante de la producción de carne de pollo y que enfrentan los productores de regiones tropicales (Zeferino et al., 2016).

En Costa Rica, se engordaron alrededor de 8.339.940 de pollos en el 2014, de los cuales, la mayoría se ubicaron en Alajuela, seguido de Heredia y San José (Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC), 2015). Las zonas con mayor número de pollos de engorde son: Turrúcares, la cual presenta temperaturas máximas de 29,2°C y mínimas de 19°C con humedades promedio de 74,4%; la Garita con temperaturas máximas de 29,5°C y mínimas de 18,7°C y humedades promedio de 77,7% y San Carlos que presenta humedades promedio de 84,16%, temperaturas máximas de 30,2°C y mínimas de 21,3°C (IMN, 2019). Existe poca información sobre la efectividad de las medidas de

adaptación en el diseño de las instalaciones de ambiente controlado o tipo túnel para pollos de engorde en Costa Rica; considerando que muchas de las instalaciones avícolas son copia o modificaciones de sistemas para pollos que se engordan en climas de 4 estaciones (Brian, 2018). Además, la información sobre el comportamiento productivo de los pollos en estrés calórico y la evaluación del comportamiento de las aves tanto en condiciones normales como en condiciones de estrés calórico, es escasa.

Es posible que los pollos de engorde en Costa Rica experimenten estrés calórico por altas temperaturas, pero también por altas humedades, por lo cual, el objetivo del trabajo es conocer cómo el estrés de calor y el uso en forma de coctel del carbonato de potasio, vitamina C, selenio, betaína y cromo, repercuten en los rendimientos productivos, la calidad de la carne y el bienestar de los pollos de engorde.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La temperatura del aire es la medida más conveniente para evaluar las condiciones térmicas, pero puede verse afectada por otros factores ambientales como la humedad relativa y la velocidad del aire, por lo tanto, estos factores se deben medir para obtener valores más precisos del entorno. La velocidad de aire influye en la pérdida de calor por convección y al aumentar el flujo de aire se reducen los impactos negativos del clima caliente. La humedad relativa es otro factor que se debe controlar para mitigar los efectos de climas extremos ya que interfiere en el enfriamiento por evaporación del ave provocando aumento en la mortalidad y afectando el bienestar animal (Luthra, 2017). La humedad relativa ambiental y la ventilación modifican la sensación térmica del pollo, una alta humedad (más de 80%) disminuye la efectividad del jadeo y la temperatura confort se reduce. La ventilación afecta la sensación térmica como se observa en el Cuadro 1, entre más velocidad de aire se genere en la galera, menor será la sensación térmica en el animal (Villa, 2009).

Cuadro 1. Sensación térmica según la velocidad de aire.

Temperatura de la galera (°C)	Velocidad de aire (m/s)	Sensación térmica (°C)
30	0,1	30
30	0,2	28
30	0,3	26
30	0,4	25
30	0,5	24

Adaptado de: Villa (2009)

Para evaluar el impacto del medio ambiente en el estado de termorregulación de los animales existen diferentes índices de confort térmico, como el índice de temperatura y humedad (THI) (Purswell et al., 2012). Este índice combina la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo. Es representado por la siguiente ecuación (Tao y Xin, 2003):

$$THI = 0,85 * T_{db} + 0,15 * T_{wb}$$

Donde:

T_{db} = temperatura de bulbo seco (°C), y

T_{wb} = temperatura de bulbo húmedo (°C) en un tiempo determinado.

Otro índice que considera la velocidad del aire a parte de la temperatura y la humedad, es el índice temperatura-humedad-velocidad de viento (THVI), Tao y Xin (2003) definen la ecuación de la siguiente manera:

$$THVI = THI * V^{-0,058}$$

Donde:

V = velocidad de viento (m/s; $0,2 < V < 1,2$).

El estrés calórico se define como la alteración del equilibrio homeostático, producido por el aumento de la temperatura ambiental y la humedad relativa del sistema, a tal punto que sobrepasa la zona de confort o termoneutralidad de la especie (Corona, 2013). Como se observa en la Figura 1, en la zona termoneutral el animal no necesita energía para mantener su temperatura corporal. El estrés calórico, puede provocar consecuencias, tales como una

mayor aparición de enfermedades y un descenso en los niveles productivos de dicho animal (Cedeño, 2011).

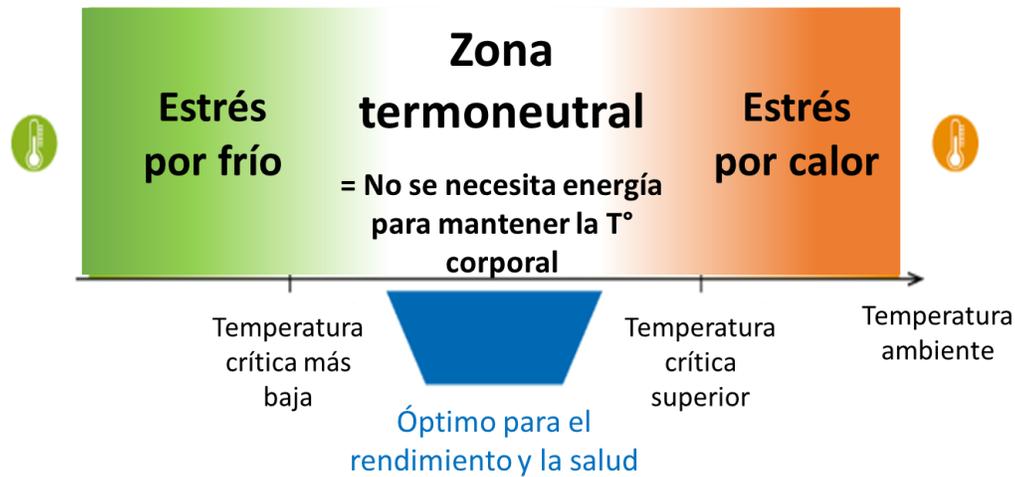


Figura 1. Temperaturas en las que el pollo de engorde sufre estrés por frío, estrés por calor o se encuentra en la zona termoneutral Adaptada de: Messant y Moquet (2018).

Las aves muestran diferentes requerimientos ambientales durante su vida. Al nacer los pollitos no pueden regular su propia temperatura, sino hasta los 21 días de edad y por esto se les conoce como heterotermos; por esta razón se deben mantener durante los primeros días de vida a una temperatura de 32°C. Una temperatura más alta provoca deshidratación afectando su crecimiento y desarrollo; por el contrario temperaturas inferiores a 30°C reducen la absorción del saco vitelino provocando que el animal este susceptible a enfermedades, ya que evita la protección inmunitaria al inicio de su vida (Estrada, Márquez y Restrepo, 2007).

Los pollos de engorde son homeotermos en su adultez, ya que, son capaces de autorregular su temperatura corporal; aunque algunos estudios demuestran que esta capacidad cambia dependiendo del clima (Corona, 2012). La temperatura corporal normal de un ave adulta es de 40,5°C a 41,9°C y la temperatura ambiental, en las últimas semanas del ciclo productivo, se debe mantener en el ámbito de 18°C a 21°C (Estrada et al., 2007). El aumento en la temperatura ambiental, provoca una dificultad en las aves adultas para disipar el calor interno, ya que no pueden sudar porque no cuentan con glándulas sudoríparas y están cubiertas de plumas; por esto son muy susceptibles a los aumentos extremos de temperatura en el ambiente durante esta etapa (Corona, 2013; Martín et al., 2017).

2.1 Efectos fisiológicos del estrés por calor

Las variables ambientales como la humedad relativa, la temperatura ambiental, la ventilación y la radiación solar son factores externos que afectan el metabolismo del animal, la comodidad y bienestar de las aves (Dai Prá y Büttow, 2014). A continuación, se describe la forma en que el desempeño de los pollos de engorde se ve afectado durante la exposición a condiciones ambientales superiores a su zona termoneutral.

El centro termorregulador del ave se encuentra en el hipotálamo el cual controla la temperatura corporal por medio de mecanismos fisiológicos y respuestas de comportamiento, para producir o eliminar el calor y así lograr una temperatura corporal normal (Dai Prá y Büttow, 2014). Al aumentar el calor también se incrementa la pérdida por distintos medios como la convección, la conducción, la evaporación y la radiación (Messant y Moquet, 2018). La pérdida de calor metabólico se clasifica en calor sensible y calor latente. El calor sensible es la transferencia de calor desde el animal por el flujo del aire sobre la superficie (conducción, convección y radiación) y el calor latente se asocia con el cambio de fase del agua (jadeo=remover calor por evaporación). Las aves pueden incrementar la pérdida de calor sensible, latente o la mezcla entre ellas y reducir la producción de calor mediante la disminución del consumo de alimento (Estrada et al., 2007; Vasco de Basilo, 2006).

La respuesta inicial del ave ante el estrés se conoce como respuesta de “ataque o huida”, y se encuentra integrada por los sistemas: nervioso, endocrino y cardiovascular. La respuesta de “ataque” se produce por una liberación de aminas neurogénicas (noradrenalina y adrenalina) aumentando la presión arterial, el tono muscular, la sensibilidad nerviosa, la respiración y la glicemia. Otros efectos son la constricción periférica de los vasos sanguíneos de la piel, del bazo y del tracto gastrointestinal (Rojas et al., 2008).

El sistema cardiovascular es un sistema involucrado en la regulación de la temperatura corporal (Ameri, Samadi, Dastar y Zarehdaran, 2016). Cuando las aves se encuentran bajo estrés calórico, se producen cambios como el aumento en el jadeo para evaporar el calor metabólico, la frecuencia respiratoria y la pérdida de CO₂ produciendo alcalosis de origen respiratorio (aumento de pH en sangre) interrumpiendo el equilibrio ácido-base. Este balance puede cambiar hacia alcalosis o acidosis; y el metabolismo se desvía hacia la adaptación de la temperatura y no al crecimiento que se espera (Nuengjamnong y Angkanaporn, 2015; Rojas et al., 2008). Cuando los pollos de engorde se encuentran

expuestos a altas temperaturas ambientales se disminuye la presión sanguínea por un incremento en el gasto cardiaco provocando vasodilatación (Vasco de Basilo, 2006).

Las altas temperaturas, mayores de 25°C hasta 41°C (Martín et al. 2017), afectan la actividad normal del organismo alterando el sistema neuroendocrino del animal, activando el eje hipotálamo-pituitaria-adrenal, lo que produce un incremento en las concentraciones de la corticosterona en el plasma (Lara y Rostagno, 2013). Además, el estrés de calor afecta la producción de hormonas tiroideas. La 3, 5, 3-triiodotironina (T3) y tiroxina (T4), desempeñan roles importantes en el control de la tasa metabólica y la termogénesis de las aves (Vasco de Basilo, 2006).

La glándula tiroides controla la tasa de consumo de energía, el crecimiento y el desarrollo del animal. El funcionamiento adecuado de la glándula tiroides depende de factores como el adecuado funcionamiento del hipotálamo y la pituitaria, así como la suficiente recepción de yodo y la conversión de T4 a T3 (Moazeni, Modaresi y Toghyani, 2016). La importancia de la glándula tiroides para la adaptación al estrés calórico está relacionada con las funciones de sus hormonas en la regulación del metabolismo (Moazeni et al., 2016; Vasco de Basilo, 2006). Al presentarse cambios endocrinos por las altas temperaturas, los cambios provocan un incremento de la acumulación de lípidos (aumenta la lipogénesis y disminuye la lipólisis) y mejora el catabolismo de los aminoácidos (Lara y Rostagno, 2013).

El estrés por calor, a largo plazo o crónico, produce en el animal daño en los órganos linfáticos, por ende, los animales se vuelven más propensos a presentar enfermedades bacterianas, virales y parasitarias (Ameri et al., 2016). Se pueden presentar cambios como la reducción en el peso relativo de los timos, las bolsas de Fabricio y en los bazo de los pollos de engorde. En gallinas ponedoras se han reportado bajos pesos hepáticos y bajos niveles de anticuerpos circulantes totales incluyendo inmunoglobulinas específicas como la inmunoglobulina M (IgM) y la inmunoglobulina G (IgG) (Pawar et al., 2016). Cuando el ave está sometida a estrés calórico redirige la energía que le brinda el alimento (normalmente se dirigiría a crecimiento y al sistema inmune) hacia los mecanismos de termorregulación, por lo tanto, se reducen las respuestas del sistema inmune, por la alteración de las vías de hipotálamo-hipófisis-adrenal y del sistema nervioso simpático-ejes medulares suprarrenales (Pawar et al., 2016).

En cuanto a la integridad intestinal, se reportan aumentos en la permeabilidad intestinal, por lo tanto, aumenta la probabilidad de ingresos de patógenos cuando el animal sufre de estrés calórico. Esta permeabilidad sucede por un estrés osmótico y oxidativo. El estrés osmótico ocurre por la pérdida de agua en el organismo y el estrés oxidativo ocurre porque la temperatura estimula la producción de radicales libres como las especies reactivas del oxígeno (ROS), que en altos niveles dañan moléculas biológicas (proteínas, lípidos, carbohidratos) (Messant y Moquet, 2018).

2.1.1 Respuesta fisiológica al estrés de calor

Al estar expuesto al calor, el animal realiza distintas respuestas fisiológicas para compensar dicho estado, por ejemplo, pérdidas de calor no evaporativas como la vasodilatación periférica y aumento en la producción de orina (Dai Prá y Büttow, 2014) debido al aumento de ingesta de agua que necesitan para compensar el agua perdida y disipar el calor, aunque cuando los animales sufren de estrés por calor se reduce el agua retenida ya que, aumenta la excreción de electrolitos por heces y orina (Nuengjamnong y Angkanaporn, 2015).

Lo primero que realizan las aves para eliminar el calor es utilizar mecanismos de emergencia como desviar la sangre hacia la periferia del cuerpo cerrando las derivaciones arteria-vena, así aumenta el flujo sanguíneo en las patas y en la cresta y por esta misma razón separan las alas del cuerpo (Vasco de Basilo, 2006).

También existe un método para eliminar el calor a través de la convección por el aumento en el área de contacto superficial, como cuando extienden sus alas o erizan sus plumas, esto permite intensificar su circulación (Dai Prá y Büttow, 2014). Las aves también limitan otras actividades que generan calor adicional como por ejemplo, comer (termogénesis por dieta), moverse (termogénesis por contracción muscular) (Messant y Moquet, 2018).

2.2 Efectos en producción

Todos estos cambios fisiológicos del animal generan disminución en los rendimientos del animal, la eficiencia alimenticia y la tasa de crecimiento en caso de los pollos de engorde (Messant y Moquet, 2018). Las aves a temperaturas ambientales por encima de la zona termoneutral disminuyen la capacidad de síntesis de proteínas del músculo. Esta limitación

altera el balance energético del ave, no almacena proteína del músculo e induce al aumento de la grasa subcutánea (Vasco de Basilo, 2006).

Estrada et al., (2007) reportaron que los rendimientos productivos de pollos de engorde se vieron afectados por la temperatura ambiental (19, 25 y 31°C). Las variables peso, conversión alimenticia (CA), ganancia diaria de peso (GDP) y consumo fueron mejores en las aves que se mantuvieron en la etapa de finalización en temperaturas ambientales menores a 19°C, seguidas de aves bajo temperaturas medias (25°C) y comparadas con los pollos bajo condiciones de altas temperaturas (31°C). Por el contrario, las mortalidades fueron mayores en las aves que se mantuvieron en altas temperaturas en comparación con las otras dos temperaturas (Jahejo et al., 2016; Rahman y Dieyeh, 2007).

De igual forma, Dieyeh (2006) reporta que los pollos que se encontraban en temperaturas medias constantes (25°C) presentaron mejores resultados de peso, ganancia diaria, conversión alimenticia y mortalidad, seguido de las aves sometidas a cambios variables de temperaturas (21-30°C) y por último los resultados más bajos fueron las aves que se encontraban bajo estrés calórico constante (35°C).

La mortalidad aumenta en las aves sometidas a estrés calórico, Vasco de Basilo (2006) reporta que la mortalidad para una galera de 9600 pollos, se mantiene entre 15 a 20 pollos diarios (0,16-0,20%) desde los 20 a los 35 días de edad, pero sube a 150 y 200 pollos por día (1,56-2,08%) durante los tres últimos días de edad. Brossi et al. (2018), observaron 37% de mortalidad en pollos bajo estrés calórico (35°C y 75-85% de humedad relativa) y 5,2% en animales en ambiente confortable (22°C y 83± 6.6% de humedad relativa) previos al sacrificio (2 horas). El estrés calórico afecta de igual manera a las aves en el transporte, es el mayor factor estresante si se compara con la vibración, el movimiento, los impactos y los ruidos, ocasionando altas tasas de mortalidades, disminución de la calidad de la carne y del bienestar animal (Lara y Rostagno, 2013).

2.3 Medidas de mitigación al estrés calórico en los pollos

2.3.1 Instalaciones

Para disminuir el estrés de calor en las aves, se toma en cuenta el diseño de instalaciones que ayuden a minimizar los efectos ambientales. Actualmente se utilizan dos tipos de instalaciones en los sistemas de pollo de engorde. Las instalaciones abiertas y las

galeras de ambiente controlado o tipo túnel. Las galeras abiertas se manejan por ventilación natural y su temperatura depende de las condiciones ambientales externas. Se utilizan cortinas que se van abriendo durante el día, dependiendo de la temperatura que se requiera para la edad del pollo, permitiendo el ingreso de aire o se cierran para restringir el flujo de aire y la tasa de recambio de aire depende de los vientos del exterior. Las galeras tipo túnel controlan las temperaturas internas, mediante el uso de mecanismos controlados automáticamente, se usan extractores, paneles de enfriamiento de aire, ventilas y aspersores, entre otros. En estos sistemas, la ventilación depende de la edad del pollo y se clasifica en ventilación mínima, ventilación de transición y ventilación tipo túnel (Belles, 2014; Donald, 2009).

La ventilación mínima se utiliza cuando el ambiente externo es muy frío o cuando las aves están muy pequeñas (0-14 días) y su propósito es introducir la cantidad suficiente de aire fresco para sacar el exceso de humedad y de amoníaco al exterior sin afectar la temperatura interna de la galera. La ventilación de transición se utiliza cuando se requiere eliminar el calor dentro de la galera sin colocar aire frío sobre las aves y va en función de la temperatura no del tiempo como en el caso de la ventilación mínima y por lo tanto hay un mayor volumen de recambio de aire. Por último, la ventilación de túnel tiene como propósito mantener a las aves confortables con el efecto de enfriamiento por el flujo de aire a alta velocidad, en zonas calientes se logra eliminar el calor, proporcionando tasas de recambio de aire necesaria para sacar el exceso de calor de la galera; dicho efecto de enfriamiento puede reducir la temperatura efectiva (percibida por las aves) hasta en 5°C a 6°C (Belles, 2014; Donald, 2009).

Otros factores constructivos que ayudan a disminuir el estrés de calor en climas tropicales son el uso de nebulizadores, ventiladores, aislantes térmicos en los techos, entierro de tuberías de agua, enfriamiento del agua, cobertura vegetal y pintura reflectante en los techos. La pintura blanca o materiales reflectores logran una mayor reflexión de los rayos solares y una disminución de la transmisión de calor al interior de la galera. La refrigeración evaporativa se basa en reducir la temperatura del aire por medio de la evaporación de agua. La refrigeración evaporativa por nebulizadores se produce cuando se utiliza una alta presión de agua y boquillas que logren el tamaño más pequeño posible de la gota de agua para que se mantenga la mayor cantidad de tiempo suspendida en el aire. La refrigeración evaporativa por paneles consiste en pasar una corriente de aire por una cortina

de agua fría, provocando la evaporación del agua y así enfriar el aire que ingresa a la galera (Belles, 2014; Donald, 2009).

2.3.2 Agua

Un requisito básico es garantizar que los pollos tengan siempre agua disponible entre 20-25°C ya que esto contribuye a soportar el calor. Además, se debe controlar la calidad química y bacteriológica del agua de bebida, revisar diariamente la presión y asegurar diariamente el consumo de agua de los animales (Belles, 2017).

El consumo de agua de los pollos es aproximadamente el doble del consumo de alimento (1,8:1 a una temperatura de 21°C en bebederos tipo campana), sin embargo cuando los pollos se encuentran bajo estrés calórico el consumo de agua incrementa de 6-7% por cada grado por encima de los 21°C (Kirkpartrick y Fleming, 2008).

2.3.3 Manejo

Algunas medidas de manejo pueden llegar a reducir los efectos del estrés calórico en el animal. Por ejemplo, la estimulación del consumo de alimento. Esta estimulación se puede realizar al incrementar la frecuencia de alimentación o agitación manual o automática del comedero, es importante asegurarse que el alimento tenga una buena granulometría y que el estímulo se dé en las horas más frescas del día o de la noche (Belles, 2017).

Realizar un choque térmico en el período de crianza es un método que se está investigando; muestra que la adaptación de las aves a un desafío de estrés por calor puede llegar a aumentar el potencial de termo tolerancia de los pollos; mostrando una alta tasa de crecimiento y por ende una mejora en la economía. Estos estudios sugieren una temperatura óptima de entre 36-37,5°C a los 3 días de vida para acondicionar a los pollos desde edades tempranas (Shaddel-tili, Ghasemi-sadabadi y Pesta-bigelow, 2016).

2.3.4 Nutrición

La nutrición ayuda a que las aves puedan afrontar de mejor manera el estrés calórico, y estas soluciones pueden brindar dos aportes al animal. El primero sería reducir la termogénesis producto de la dieta, seleccionando nutrientes que produzcan un bajo calor metabólico. Y el segundo es brindarle al animal nutrientes bioactivos que corrijan

específicamente los cambios fisiológicos ocasionados por el estrés calórico, por ejemplo, el estrés oxidativo o la permeabilidad del intestino (Messant y Moquet, 2018).

Una de las prácticas propuestas en el área nutricional es la alimentación restringida durante las horas más calientes del día, para poder alterar niveles de proteína, energía y complementar las dietas con distintos aditivos como: vitamina C, cloruro de amonio, cloruro de potasio y bicarbonato de sodio entre otros (Khattak et al., 2012).

2.3.4.1 Aditivos

Algunas sustancias naturales generan una mejora en el metabolismo hepático como lo es el extracto de alcachofa (*Cynara scolymus L*) que posee principios activos con efectos antioxidantes, coleréticos (activa producción de bilis) y colagogos (estimula expulsión de bilis retenida). Este extracto logra una mejora en la inmunosupresión y la productividad. También estimula la producción de bilis y, por ende, mejora la digestión de las grasas durante las primeras semanas de vida. Estos beneficios disminuyen las afectaciones a nivel hepático como la esteatosis (hígado graso), producida por la acumulación de triglicéridos provenientes de la absorción intestinal debido a la inhibición de la síntesis de lipoproteínas por el aumento de corticosteroides (Acebal et al., 2018). El hígado experimenta un desbalance metabólico energético que resulta en una mala digestión en animales en estrés calórico (Virden y Kidd, 2009).

Dietas con suplementos hechos a base de plantas aromáticas como los aceites esenciales de orégano, canela, eucalipto, ajo, jengibre, tomillo, entre otros, muestran un efecto estimulante sobre el sistema digestivo de los animales aumentando la producción de enzimas digestivas, las cuales ocasionan una mejoría en la utilización de productos digestivos a través de una mejor función hepática (Adaszynska y Szczerbinska, 2017; Ameri et al., 2016; Goulart et al., 2019; Jang, Ko, Kang y Lee, 2006; Krishan y Narang, 2014; Parvar, Khosravinia y Azarfar, 2013; Tekce y Gül, 2017).

2.3.4.1.1 Betaína

La betaína o trimetilglicina es un aditivo de uso nutricional que se puede obtener tanto químicamente como naturalmente, se absorbe en el duodeno y se acumula intracelularmente, a través de los transportes activos (Na^+ o Cl^-) y pasivos (Na^+) (Fernández y Pintaluba, 2014). De forma natural se puede encontrar en diferentes plantas y organismos,

pero comúnmente se extrae de la remolacha (Sakomura et al., 2013, Chand et al., 2017). Químicamente se obtiene mediante la donación de grupos metilo en el proceso de transmetilación que regenera metionina desde homocisteína o indirectamente como donante de grupos metilo en la síntesis de colina a partir de dimetiletanolamina (Martínez, 2008). La biosíntesis de la betaína es creada por oxidación de colina en la mitocondria celular (Sakomura et al., 2013).

La betaína tiene dos funciones metabólicas primarias. La primera como un donador de metilo, indispensable para la síntesis de metionina, participando en su ciclo como se puede observar en la Figura 2 y en reacciones de transmetilación para síntesis de sustancias como carnitina y creatinina. Y la segunda función es ser un osmoprotector ya que ayuda a la homeostasis del agua celular, aumentando la retención de agua intracelular y, por ende, protegiendo enzimas contra la inactivación por ósmosis (Attia et al., 2017; Fernández y Pinaluba, 2014; Khattak et al., 2012; Sakomura et al., 2013).

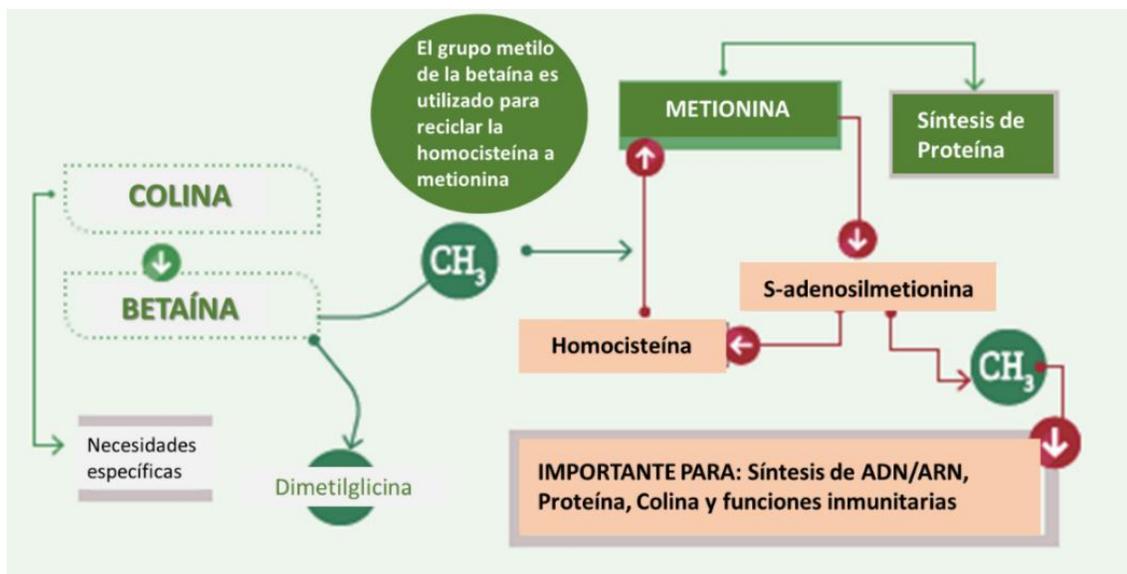


Figura 2. Betaína y ruta de transmetilación en el ciclo de la metionina. Fuente: Crespo y Hense (2016).

La betaína ajusta la presión osmótica cuando el animal está expuesto a ambientes fuera de la zona de confort y preserva la humedad dentro de las células y previene la deshidratación. También logra mejorar la resistencia de los epitelios intestinales, la digestión de los nutrientes y, el crecimiento de los animales. Impide el desarrollo del hígado graso por

su acción lipotrópica debido a que previene la acumulación excesiva de grasa en el hígado al igual que la colina y la metionina (Chand et al., 2017; Morales, 2010; Park y Park, 2017).

Chand et al. (2017) encontraron que al suplementar betaína en los alimentos de pollos de engorde sometidos a estrés de calor (temperaturas máximas de 33,6°C y mínimas de 25,4°C con humedades máximas de 87% y mínimas de 52%) los rendimientos productivos como ganancia diaria de peso, consumo y conversión alimenticia fueron significativamente mejores conforme se iba incrementando el nivel de inclusión (1, 1,5 y 2g/kg) con respecto al tratamiento control.

Existen dos tipos de betaína en el mercado, la forma anhidra y la forma de hidrocloreuro. La forma anhidra es obtenida por la extracción de la remolacha azucarera y el hidrocloreuro de betaína es producido sintéticamente, ambos tipos presentan propiedades nutricionales similares (Suarez y Van der Aa, 2013).

No existen relaciones fisicoquímicas ni interacciones entre la betaína y las materias primas, aditivos o en premezclas en alimentos concentrados. Se puede usar en todos los animales sin ningún límite máximo y se puede administrar tanto en el alimento concentrado, directo, por premezcla o en el agua de bebida (European Food Safety Authority, 2013).

2.3.4.2 Minerales

2.3.4.2.1 Cromo

El cromo (Cr) es un mineral presente en pequeñas cantidades en los ingredientes de las dietas de los pollos, se encuentra en cereales y en semillas oleaginosas. Es un elemento metálico y hallado en los estados de oxidación 2, 0, 2+, 3+ y 6+, pero su forma más estable es el trivalente (3+). Es un elemento traza esencial para el metabolismo de carbohidratos, proteínas y lípidos. Las fuentes orgánicas del Cr más disponibles son las de 15 a 30% y se absorben mejor que las fuentes inorgánicas con una menor disponibilidad (1 a 3 %) ya que presentan menor absorción. La alta disponibilidad de Cr orgánico se debe a la quelación con aminoácidos u otros compuestos, como lo es el Cr-L-metionina, el Cr-histidinato, el Cr-picolinato, el Cr-complejo ácido nicotínico y el Cr-levadura (Dalólio et al., 2018; Hajjalizadeh, Ghahri y Talebi, 2017; Sahin et al., 2017).

El Cr aumenta la sensibilidad celular a la insulina, por lo tanto, se presenta una mayor captación de la glucosa en los tejidos musculares y adiposos, esta mayor captación de

glucosa favorece el aumento de la hormona de crecimiento incrementando la síntesis de proteínas; ya que se reduce la gluconeogénesis en el hígado provocando que los aminoácidos se conserven para el crecimiento y para la deposición de proteínas (Dalólio et al., 2018; Sahin et al., 2017).

Hajjalizadeh et al. (2017), lograron obtener mejores resultados de peso final, ganancia diaria de peso (GDP), consumo y conversión alimenticia (CA) en pollos suplementados con nano-Cr o con Cr-picolinato en temperaturas de estrés calórico (36°C) que en los animales sin ninguna suplementación en el alimento. También se observó que el porcentaje de proteína en la pechuga y en el muslo, aumentó al suplementar con Cr-levadura.

El cromo es un mineral que presenta fuertes actividades antioxidantes, lo que genera una disminución de la peroxidación de lípidos causada por el estrés calórico y previene la autooxidación de la glucosa (Li et al., 2018; Sahin et al., 2017). También influye en la actividad del sistema inmunológico, por medio de un aumento en la concentración de la IgG y la producción de anticuerpos, ya que, el Cr logra disminuir las concentraciones de corticosterona (Dalólio et al., 2018; Li et al., 2018).

2.3.4.2.2 Selenio

El selenio (Se) se utiliza tradicionalmente en forma inorgánica (selenito) o de forma orgánica (selenio-aminoácidos). Estos últimos son absorbidos por el mismo mecanismo de transporte activo usado para las proteínas y se encuentran más disponibles en el organismo que las fuentes de selenio inorgánico (Habibian, Sadeghi, Ghazi y Mehdi, 2015; Urso et al., 2015).

El Se es considerado un nutriente traza esencial para los animales, la mayoría de las funciones se encuentran asociadas con la vitamina E, ambos son compuestos antioxidantes que ayudan a proteger a las membranas celulares de daños por peroxidación (Habibian et al., 2015; Ibrahim, Eljack y Fadlalla, 2011). Las especies reactivas del oxígeno (ROS) cuando se acumulan inducen a la peroxidación lipídica y al estrés oxidativo (Habibian et al., 2015; Rama Rao et al., 2013; Ibrahim et al., 2011; Urso et al., 2015).

Uno de los objetivos por el cual, se utiliza el Se en las dietas de los pollos de engorde en condiciones de estrés calórico es para mantener el normal desarrollo y funcionamiento del

sistema inmune (Habibian et al., 2015; Rama Rao et al., 2013). Además, mejora la cantidad de macrófagos y la habilidad de estos para fagocitar (Niu, Liu, Yan y Li, 2009). Otra función es la de proteger el tejido pancreático y el intestino delgado contra el estrés oxidativo que produce el estrés calórico en el animal y así aumentar la digestión de los nutrientes (Habibian et al., 2015).

Ibrahim et al. (2011) y Rama Rao et al. (2013) no encontraron diferencias significativas en los rendimientos productivos, al comparar los pollos que fueron suplementados con Se y sin suplementación. Sin embargo, Rama Rao et al. (2013) reportan diferencias en la disminución de la peroxidación lipídica de 1,756 a 1,370 nmol MDA/mg proteína, en el aumento de las actividades de las enzimas glutatión peroxidasa de 206,3 a 277,3 unidades/ml, en la glutatión reductasa de 65,33 a 85,85 unidades/ml y en la catalasa de 303,3 a 422,4 unidades/gHb, ya que aumentaron linealmente conforme se incrementó la concentración de selenio (0, 100, 200, 300 y 400 µg/kg) en la dieta. Estas actividades enzimáticas catalizan la reducción del peróxido de hidrógeno para proteger las células de daño por oxidación (Habibian et al. 2015; Rama Rao et al., 2013; Urso et al., 2015).

2.3.4.2.3 Carbonato de Potasio

Los electrolitos son importantes en el organismo ya que mantienen el equilibrio ácido-base, la presión osmótica y el potencial eléctrico de las membranas. Los iones monovalentes (Na^+ , K^+ y Cl^-) son minerales implicados en el equilibrio ácido-base, por su alta permeabilidad y mayor absorción que los iones divalentes (Ca^{2+} y Mg^{2+}). Cuando el animal se encuentra en estrés calórico, los niveles de Na^+ , K^+ y Cl^- en plasma se ven afectados, Na^+ y K^+ disminuyen y el Cl^- aumenta conforme la temperatura aumenta (Nuengjamnong y Angkanaporn, 2015).

El potasio es el principal catión intracelular y desempeña un papel fundamental en el balance de fluidos corporales y en el mantenimiento del potencial de membrana (Reece, Sell, Trampel y Christensen, 2000; Zarrin-Kavyani, Khatibjoo, Fattahnia y Taherpour, 2018). La temperatura ambiental influye en el equilibrio ácido-base; las aves pueden regular el pH del fluido corporal, pero se genera una alcalosis respiratoria por la pérdida excesiva de CO_2 del cuerpo. La alcalosis metabólica se presenta cuando existe una alteración en el estado ácido-base del cuerpo y se desplaza al lado alcalino. Los minerales esenciales para mantener el equilibrio ácido base son Na, K y Cl; cuando se absorben el Na y el K se puede minimizar el exceso de bases. Se puede lograr prevenir o reducir muertes de pollos sometidos a estrés calórico añadiendo suplementos de electrolitos a las dietas de las aves (Borges et al., 2007).

En la práctica se utilizan distintas sustancias como el cloruro de potasio (KCl) y el bicarbonato (NaHCO_3) como suplementación en dietas con estrés calórico. La suplementación con electrolitos mostró un ligero efecto positivo en el rendimiento de los animales y en las mortalidades, en un experimento donde se administraron electrólitos mixtos en el agua de bebida, los animales lograron mantener una osmoralidad sérica normal en comparación con otros grupos del estudio (Farfán, Rossini y De Basilio, 2013; Nuengjamnong y Angkanaporn, 2015).

2.3.4.3 Antioxidantes

Los antioxidantes han demostrado que pueden atenuar los efectos que causa el estrés por calor en el ave, ya que este estrés induce a un estrés oxidativo provocando un daño celular (Dalólio et al., 2018; Mahmoud, Abdel-Rahman y Darwish, 2014). La vitamina E es un antioxidante con alta solubilidad en lípidos y se puede encontrar en el plasma y en la mitocondria. Esta vitamina es esencial para mantener la integridad cardiovascular y la de otros sistemas. Se considera el principal antioxidante que elimina los radicales libre de oxígeno y previene el daño per oxidativo de las membranas celulares (Mahmoud et al., 2014).

2.3.4.4 Vitaminas

La vitamina C es soluble en agua y es de importancia para mantener un buen estado de salud, puede sintetizarse a una gran velocidad en las aves para satisfacer sus necesidades bajo condiciones normales (Mahmoud et al., 2014). La biosíntesis ocurre en el hígado y riñones en aves y mamíferos. En las aves esta biosíntesis se genera mayormente en los riñones. La glucosa, fructosa y manosa sirven como precursores de la síntesis del ácido ascórbico. El ácido ascórbico no es un nutriente esencial para las aves porque poseen una enzima gulonolactona oxidasa necesaria para su biosíntesis, pero es importante que se suplemente en caso de estrés (Khan et al., 2012).

Los animales en condiciones de estrés calórico ven perjudicada la absorción del ácido ascórbico, aumentando el requerimiento diario de la vitamina. También, afecta al sistema endocrino responsable de la retención y el apropiado funcionamiento metabólico de la vitamina (Khan et al., 2012).

Mahmoud et al. (2014), encontró que un 0,1% de ácido ascórbico no mostró efecto sobre el peso del pollo de engorde, pero si observó un efecto de mejora cuando se encontró en situaciones de estrés como el estrés por calor, nutricional o patológico. Este mismo autor menciona que la vitamina C ayuda a restaurar la vitamina E oxidada, ya que, le dona un electrón al radical tocoferol que genera la forma reducida de la vitamina E. Además, está involucrada en la producción de glóbulos blancos y aumenta el sistema inmune del animal (Khan et al., 2012).

Lohakare et al. (2005), encontraron una tendencia lineal entre el aumento de peso de los animales con respecto a la mayor inclusión de vitamina C en la dieta. También demostraron que las carnes más rojas se encontraron en las aves suplementadas con 50 y 100ppm de vitamina C; y las carnes más amarillas se presentaron en los pollos sin suplementación de vitamina C; esto demuestra que la estabilidad en el color de la carne se logra mejorar con la adición de la vitamina C como un agente antioxidante y que los altos valores encontrados en los grupos que no se suplementaron con la vitamina correspondieron a una progresiva peroxidación lipídica.

Vathana et al. (2002), determinaron que si se añade 40 mg/ave/día de vitamina C en el agua de bebida a pollos de engorde sometidos a estrés calórico (30-37°C) se disminuye la mortalidad en 2,2% con respecto a pollos que recibieron 20mg de Vit C/ave/día (5,6%).

La suplementación de vitamina E ha tenido efectos positivos en el crecimiento de los pollos con estrés calórico, ya que ayuda a disminuir la peroxidación lipídica y mejora la función del sistema inmune (Dalólio et al., 2015). También la suplementación con vitamina A en la dieta presenta resultados positivos en la mejora de la inmunocompetencia de los pollos de engorde cuando son criados en condiciones de estrés calórico (Niu, Wei et al., 2009).

2.4 Bienestar animal

Cuando un animal se encuentra frente a un agente estresante, en primera instancia se activa el sistema nervioso, compuesto por neuronas posganglionares simpáticas y por tejido medular de la glándula adrenal provocando una respuesta de “ataque o huida”, secretando neurotransmisores como la epinefrina y la norepinefrina. Cuando falla este intento por combatir el factor estresante, inmediatamente se activa el eje hipotálamo-hipofisario-adrenal. El hipotálamo produce un factor liberador de corticotropina (CRF) que a su vez estimula a la pituitaria a liberar la hormona adrenocorticotrópica (ACTH). Esta

hormona hace que las células adrenales secreten corticosteroides. El cortisol es el corticosteroide primario en la mayoría de los mamíferos y la corticosterona es el primario en las aves (Viriden y Kidd, 2009). El mejor glucocorticoide adrenal aviar es la corticosterona, aunque de igual forma se produce una baja concentración de cortisol. La concentración de corticosterona en niveles elevados se produce por factores estresantes por el incremento de la secreción de la ACTH y la CRF, estos aumentos se dan por factores estresantes biológicos (calor, frío, toxinas, gases), productivos (densidad, restricción, inmovilización, transporte, intensidad lumínica) y nutricionales (ayuno, deficiencias nutricionales, regímenes alimenticios) (Scanes, 2016). Si los corticosteroides permanecen en niveles elevados en la circulación pueden provocar efectos como cambios en el metabolismo de la glucosa y minerales, enfermedades cardiovasculares, hipercolesterolemia, lesiones gastrointestinales (inhibición del funcionamiento) y alteraciones en la funcionalidad del sistema inmunitario (Scanes, 2016; Viriden y Kidd, 2009) afectando el bienestar de las aves. Una de las pruebas más utilizadas como indicador de estrés o de bienestar es la medición de la concentración de corticosterona (Díaz, Uribe y Narváez, 2014; Mahmoud et al., 2014; Shaddel-tili et al., 2016).

La termografía se usa cada vez más como herramienta para evaluar el bienestar de los pollos debido a que permite medir las condiciones ambientales bajo las que se encuentran estabulados los animales. La termografía se realiza sobre un organismo y mide las radiaciones térmicas que emite, transformándolas en imágenes digitales. Esta técnica se considera no invasiva y evita que el animal se estrese (Melero, López y Sánchez, 2010). Algunos beneficios de esta técnica son la observación del ambiente dentro de las galeras, la variedad de las temperaturas que se localizan en los distintos puntos y que pueden afectar las aves, como se puede observar en la Figura 3 (García, 2014).

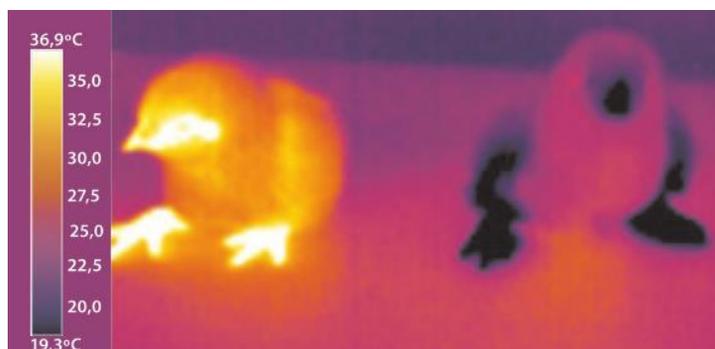


Figura 3. Fotografía termográfica de dos pollitos en una galera, el de color amarillo (debajo de la lámpara de calefacción) y el oscuro (lejos de la lámpara) (García, 2014).

Los etogramas son herramientas básicas para lograr una mejor comprensión del comportamiento animal. Su objetivo es enumerar los distintos comportamientos de la especie y al lograr reconocerlos, se puede conseguir correlacionarlos con los factores ambientales (Oliveira, Rita De Alcantara Souza y Nei Da Silva, 2014). Se evalúan comportamientos como sentarse, comer, beber, explorar, rascarse, baños de arena, acicalarse, peleas, rascar y sacudir alas (Araújo et al., 2015; Villagrà et al., 2014). Los etogramas se han utilizado para comparar el comportamiento de los animales con diferentes fuentes de luces (Araújo et al., 2015), con cambios térmicos en el ambiente (Nääs et al., 2012) y para la selección de materiales de camas (Villagrà et al., 2014). Existen diferentes técnicas para realizar los etogramas, por ejemplo investigadores como Oliveira et al. (2014), utilizaron la técnica de muestreo Animal Focal, que establece la recolección de datos en 10 turnos (días), fraccionados en 14 sesiones diarias distribuidas en 7 horas.

2.5 Calidad de la carne

El estrés calórico puede afectar la calidad de la carne con aumentos en la deposición de grasas. Una temperatura elevada en el periodo de crianza aumenta el recuento de células musculares importantes para la hipertrofia del tejido muscular (Shaddel-tili et al., 2016).

El estrés agudo puede disminuir el peso del músculo de la pechuga, al igual que disminuye el enrojecimiento, el color amarillo del músculo y aumenta la pérdida por goteo de la carne. Esto puede ser causado por la desnaturalización de las proteínas sarcoplasmáticas que producen la dispersión de la luz (Corona, 2012; Zhang et al., 2012).

Zhang et al. (2012), reportaron un aumento en la palidez de la pechuga y muslos de los pollos que se mantuvieron bajo condiciones constantes (34°C) y temperaturas cíclicas (cambiando entre 23°C y 36°C), una mayor pérdida de goteo (10,07% y 9,43% respectivamente para pechuga y 13,72% y 12,17% para muslo) y una mayor fuerza de corte (19,30 N y 19,40 N, respectivamente para pechuga y 27,59 N y 23,87 N para muslo) comparados con pollos sometidos bajo temperaturas estándares (23°C) obteniendo 8,58% para pérdida por goteo para pechuga y 11,51% para muslo, y para fuerza de corte 17,90 N para pechuga y 22,68 N para muslo. Con respecto a los colores de la carne, fueron más rojos y menos amarillos los pollos sometidos a temperaturas estándares que los pollos bajo condiciones cíclicas y constantes de altas temperaturas.

La energía que se necesita para la actividad muscular se obtiene del glucógeno, el cual se almacena en el músculo. Un animal sano y relajado presenta niveles de glucógeno altos, esta reserva de glucógeno se transforma en ácido láctico, provocando que la carne se vuelva rígida (proceso de *rigor mortis*) y con esta adecuada cantidad de ácido láctico se produce carne de calidad: buen sabor, terneza y un adecuado color. El caso contrario ocurre en los animales que se encuentran sometidos a algún tipo de estrés antes y durante el sacrificio produciendo efectos sobre la calidad de la carne (FAO, 2001).

Según Zhang et al. (2012), el estrés calórico puede acelerar el metabolismo glucolítico postmortem, dando como resultado carne pálida, suave y exudativa (PSE) en los pollos de engorde. La carne PSE se presenta por varios factores de estrés severos como lo son: ayunos o pobre alimentación por periodos prolongados, por largos recorridos, por mezclas de lotes, mal manejo en las descargas o un mal aturdimiento, provocando miedo y ansiedad en el animal. Ocurre cuando el glucógeno es rápidamente transformado en ácido láctico produciendo un pH menor a 6 en un tiempo menor a 45 minutos post sacrificio; la combinación de pH bajo y temperaturas altas causan la desnaturalización de proteínas del músculo y disminución en la retención de líquidos (Ávalos, Herrera y Morera, 2012; FAO, 2001).

Para evaluar los efectos del estrés de calor en la carne de las aves, se utilizan distintas técnicas como las de colorimetría, de pH, de retención de agua y de fuerza de corte (Galván et al., 2015; Shaddel-tili et al., 2016). Zeferino et al. (2016), reportan resultados que evidencian mejoras en el pH de pechugas de pollos suplementados con vitamina C (257-288mg/kg) y vitamina E (93-109mg/kg) en estrés calórico (32°C) de 5,92 y de 5,78 en temperaturas termoneutrales (22,5-22,6°C) sin embargo, a pesar de la suplementación, reportaron valores inferiores en los parámetros de coloración en los pollos bajo estrés calórico. Esto se relacionó con una carne de menor calidad. No observaron diferencias significativas, lo que indica que la suplementación mejora los indicadores mencionados en animales en condiciones de estrés calórico.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General:

Evaluar el efecto de carbonato de potasio, vitamina C, selenio, betaína y cromo en forma de coctel sobre el rendimiento productivo, la calidad de la carne y el bienestar en pollos de engorde bajo condiciones de estrés calórico.

3.2 Objetivos Específicos:

- a) Evaluar el efecto del estrés de calor y el uso de carbonato de potasio, vitamina C, selenio, betaína y cromo en forma de coctel en el desempeño productivo de pollos de engorde.
- b) Medir el efecto del estrés de calor y el uso de carbonato de potasio, vitamina C, selenio, betaína y cromo en forma de coctel en la calidad de la carne en pollos de engorde.
- c) Valorar como el estrés de calor afecta el bienestar de los pollos a través de biomarcadores fisiológicos.
- d) Estimar cómo el estrés de calor afecta el bienestar de los pollos a través de indicadores de comportamiento.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en una granja experimental de pollo de engorde, ubicada en la provincia de Alajuela, entre los meses de agosto y octubre del 2019. La granja se ubica a 745 m.s.n.m. y presenta una temperatura media anual de 24,1°C y una precipitación media de 1636,9 mm (IMN, 2019). La prueba se llevó a cabo en una galera experimental de ambiente controlado y ventilación tipo túnel. La granja pertenece a una empresa avícola de integración vertical productora de carne de pollo y huevos.

4.1 Animales y alojamiento

Se utilizaron 3.000 pollos de engorde hembras y machos de la línea genética Cobb 500 de emplume rápido, de un día hasta los 35 días de edad, provenientes de aves reproductoras de 55 semanas de edad. Se acondicionaron dos zonas, dentro de una misma galera (Figura 4) con dos diferentes condiciones ambientales, denominadas: zona caliente (amarilla) y zona fresca (azul). Cada zona contó con 30 corrales organizados en 3 baterías, donde se colocaron 50 aves por corral, 1.500 pollos por zona y 3.000 pollos en total. Los corrales tuvieron las siguientes dimensiones: 1,37 m de ancho x 2,37 m largo, con una densidad de 15,6 pollos por metro cuadrado. Se utilizó cascarilla de arroz como cama.

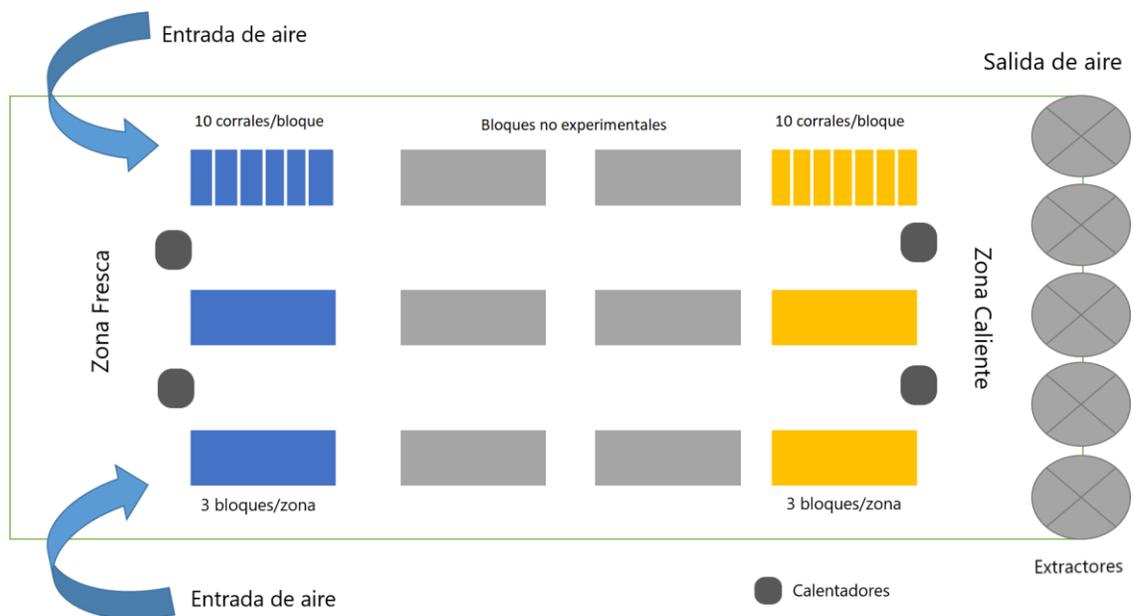


Figura 4. Esquema de la galera experimental, ubicación de las zonas experimentales y de los corrales.

Cada corral contó con un comedero manual para pollitos bebé hasta los 7 días de edad, luego se cambió por un comedero manual tipo cilindro. Durante todo el experimento se utilizaron bebederos tipo tetina, con 5 tetinas por corral, y una relación de 10 aves por boquilla. Se les ofreció agua a libre consumo. La altura del bebedero y la presión del agua (Cuadro 2) se ajustó de acuerdo a la edad del ave y a las recomendaciones de disponibilidad de agua de la línea genética (Cobb-Vantress, 2018).

Cuadro 2. Presiones de agua utilizadas en el experimento según el manual Cobb-Vantress.

Edad	Flujo de agua en 30 segundos
0-7 días	20ml
8-14 días	25ml
15-21 días	30ml
22-28 días	35ml
29-35 días	45ml

Fuente: Cobb-Vantress (2018)

Para acondicionar y lograr las condiciones ambientales de las dos zonas experimentales, se realizó una modificación a lo recomendado en el manual de manejo de la línea genética Cobb-Vantress (2018), Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Temperatura ambiental según la humedad relativa recomendada por el manual Cobb-Vantress para condiciones óptimas.

Edad	50%HR	60%HR	70%HR
0 días	32°C	31°C	30°C
7 días	30°C	29°C	28°C
14 días	27°C	26°C	25°C
28kg/m2	23°C	22°C	21°C

Fuente: Cobb-Vantress (2018)

Cuadro 4. Velocidad máxima recomendada por el manual Cobb-Vantress (2018), para condiciones óptimas.

Edad	Velocidad máxima (m/s)
0-5 días	0,0-0,3
5-14 días	0,3-0,5
14-21 días	0,5-1,8

Fuente: Cobb-Vantress (2018)

En el Cuadro 4 y 5 se muestran las temperaturas ambientales y velocidad de aire programadas para toda la galera experimental. Para lograr las diferencias ambientales entre zonas experimentales, en la zona fresca se usaron 2 calentadores de gas turbo marca Hired-Hand, modelo Super-Saver XL (SS-225-XL), durante la primera semana de vida de los pollitos. Los calentadores se encendieron automáticamente, activados mediante sensores, para mantener los valores experimentales. En la zona caliente se usaron, también 2 calentadores de gas turbo marca Hired-Hand, modelo Super-Saver XL (SS-225-XL), pero desde el primer día hasta los 21 días de edad. Los calentadores se encendieron automáticamente para mantener los valores experimentales. La distribución espacial de los corrales en la galera de las dos zonas experimentales, el uso de calentadores por más tiempo del recomendado y la distancia de los corrales con respecto a las entradas de aire y de los extractores (Figura 4) permitió lograr las diferencias ambientales entre las zonas experimentales del estudio.

Cuadro 5. Programa de temperatura ambiental para toda la galera utilizado en el experimento.

Edad (días)	Temperaturas Zona Fresca	Temperaturas Zona Caliente	Edad (días)	Temperaturas Zona Fresca	Temperaturas Zona Caliente
1-3	33°C	35°C	11-14	28°C	30°C
3-5	32°C	34°C	14-21	27°C	29°C
5-7	31°C	33°C	21-28	26°C	28°C
7-11	30°C	32°C	28-35	25°C	27°C

Se utilizó un programa de ventilación mínima durante los primeros 14 días de edad de los pollos, de los 14 a 21 días se aplicó un programa de ventilación mínima con paso a ventilación túnel con restricción de ventilación de acuerdo al encendido de los extractores y la temperatura deseada. A partir de esta edad la ventilación estuvo regulada por la temperatura de la galera, de acuerdo con los valores del Cuadro 5, para alcanzar estos parámetros deseados se realizó el encendido y apagado de extractores y la apertura de entradas de aire automática regulada por sensores.

La temperatura ambiental, la humedad relativa y la velocidad de aire se midieron 3 veces al día (mañana: 9 a.m., medio día: 12 m.d. y tarde: 3 p.m.) para cada zona, con un anemómetro marca Kestrel, modelo 3000. La diferencia obtenida entre las dos zonas de tratamiento fue de 1 a 2 °C de temperatura ambiental, como se muestra en la Figura 5, entre 2 y 14% en humedad relativa (Figura 6) y entre 0,2 y 0,6 m/s en velocidad de viento (Figura 7).

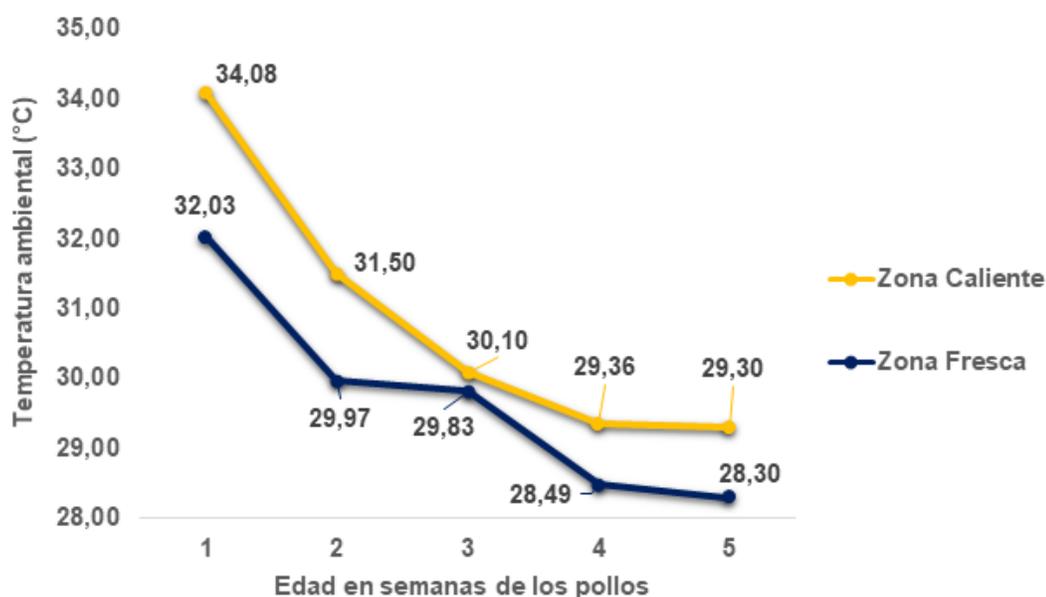


Figura 5. Temperaturas ambientales promedio de las dos zonas experimentales.

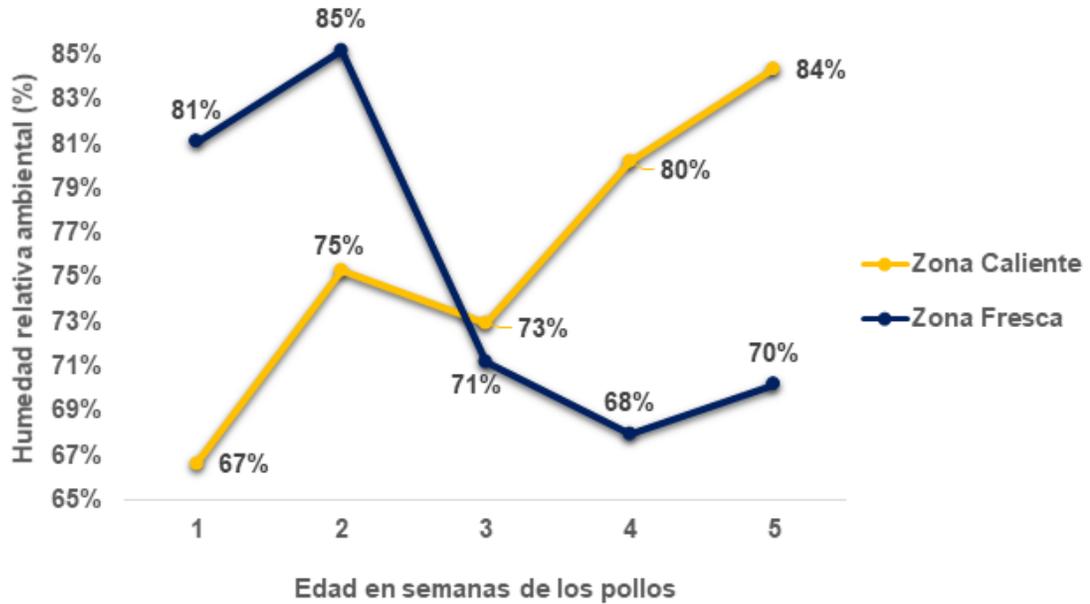


Figura 6. Humedades relativas promedio en ambas zonas experimentales.

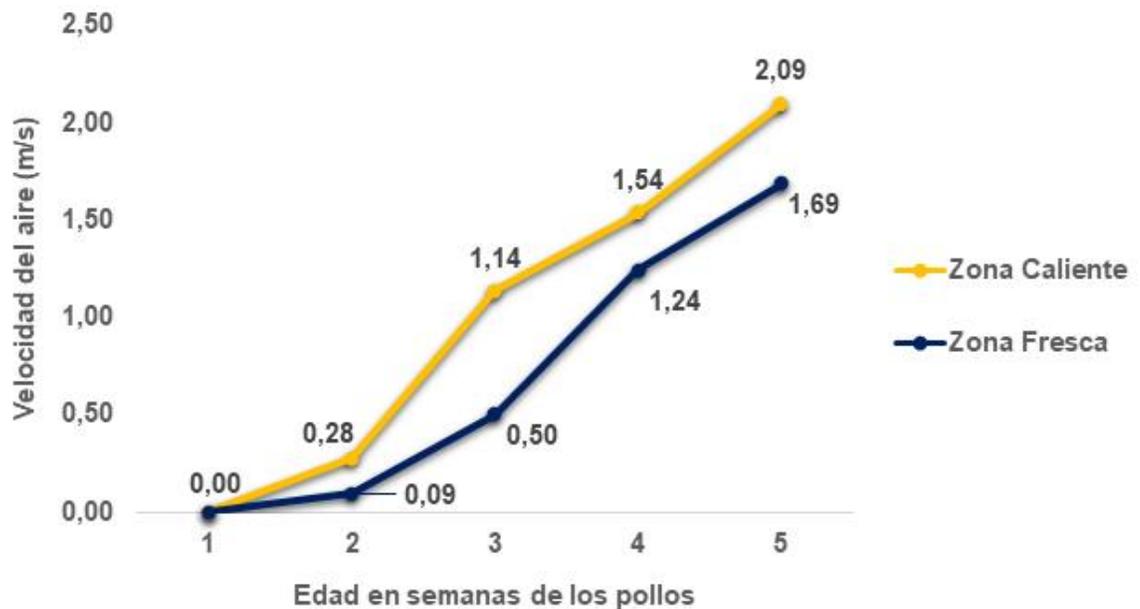


Figura 7. Velocidad de aire (m/s) promedio de las dos zonas experimentales.

Para integrar los efectos de la temperatura ambiental, la humedad relativa y la velocidad del aire, se calculó el índice de temperatura y humedad (ITHI) y el índice de temperatura, humedad y velocidad del viento (ITHVI) descrito por Tao y Xin (2003).

El índice de temperatura y humedad (ITHI): se calculó con el promedio de los datos obtenidos por semana. El índice se calculó de la siguiente forma según Tao y Xin (2003):

ITHI= 0,85 x Temperatura de bulbo seco (°C) + 0,15 x Temperatura de bulbo húmedo (°C). El índice de temperatura, humedad y velocidad de viento (ITHVI): de la siguiente forma según Tao y Xin (2003): ITHVI = ITHI * Velocidad de viento obtenida (m/s)^{-0,058}.

4.2 Procedimiento general

Los pollitos se pesaron al primer día de edad, recién llegados a la granja y cada semana, hasta los 35 días de edad. Para obtener los pesos, se utilizó una balanza móvil con forma de cajón, donde se pesaron los 50 animales en conjunto de cada uno de los 30 corrales de cada zona. Se alimentó diariamente a las aves con las cantidades recomendadas por el manual de la línea genética Cobb 500 (Cobb-Vantress, 2018) (Cuadro 6). Se pesó el alimento ofrecido semanalmente, al igual que el alimento no consumido, para conocer el consumo real de los pollos.

Cuadro 6. Fases de alimentación y cantidad recomendada por fase según el manual Cobb-Vantress utilizado en el experimento.

Edades	Fases	Cantidades por fase**	Cobb
1-7 días	Preinicio	160g/ave	145g/ave
8-20 días	Inicio	800g/ave	976g/ave
21-28 días	Desarrollo	1200g/ave	1088g/ave
29-35 días	Finalización	1200g/ave	1190g/ave

Fuente: Cobb-Vantress (2018) ****Datos granja**

Se utilizó alimento balanceado comercial peletizado, formulado para pollos de engorde, según las recomendaciones de la línea genética Cobb-Vantress (2018) y la empresa avícola donde se realizó el experimento. El alimento experimental se fabricó en la planta de alimentos comerciales de la empresa.

Al alimento balanceado se le agregó, mediante mezclador en la planta de alimentos, una premezcla denominada “coctel” con los siguientes aditivos: carbonato de potasio, vitamina C, selenio, betaína y cromo en distintas proporciones (Cuadro 7). Para verificar la adición correcta y el mezclador del coctel se observó el proceso de fabricación y se realizaron diferentes muestreos durante todas las fases. Se muestreó el coctel en la zona de premezclas, para verificar que la adición de los aditivos fuera acorde a la formulación del

mismo. Posterior a esto, se realizó un muestreo de producto terminado a la salida del producto de la peletizadora y se realizaron las pruebas de análisis de durabilidad del pellet (PDI) y de dureza; también se realizó un análisis NIR para cada uno de los tratamientos, en todas las fases.

El alimento utilizado correspondió a un tercio del total de los baches (2200 kg c/u) seleccionados, los cuales consistieron en la segunda y tercera corrida, ya que la primera cumplía la función de limpieza entre baches. En otras palabras por cada corrida se seleccionaron 550kg de alimento, de la porción central de la mezcladora. Este manejo asegura que el alimento utilizado contenga de forma homogénea los aditivos. El procedimiento se realizó de la misma forma para todos los tratamientos y fases utilizadas.

El alimento de los distintos tratamientos se empacó en sacos, para una mejor manipulación en la granja, cada saco contaba con su respectiva etiqueta diferenciada por código de tratamiento y color; además, se agregó otra etiqueta con los porcentajes de inclusión de los aditivos.

Cuadro 7. Porcentaje de inclusión en el alimento y dosis de los aditivos del coctel utilizados en el experimento.

Ingredientes del coctel	0%	25%	50%	75%	100%
Carbonato de Potasio (kg/ton)	0	0,104	0,199	0,293	0,387
Vitamina C (kg/ton)	0	0,153	0,296	0,438	0,581
Selenio (kg/ton)	0	0,023	0,035	0,048	0,060
Betaína (kg/ton)	0	0,260	0,510	0,760	1,010
Cromo (kg/ton)	0	0,110	0,210	0,310	0,410
Total (kg/ton)	0	0,650	1,250	1,849	2,448

Los tratamientos estudiados se describen el Cuadro 8, donde se presenta la zona experimental y el porcentaje de inclusión del cóctel de aditivos utilizado. El costo del coctel con el 100% de inclusión para un saco de 46kg fue de aproximadamente 174.379 colones.

Cuadro 8. Distribución de los tratamientos evaluados según porcentaje de inclusión y zona experimental.

Tratamientos	Zona experimental	Inclusión*
T1**	Zona Fresca	0%
T2	Zona Fresca	25%
T3	Zona Fresca	50%
T4	Zona Fresca	75%
T5	Zona Fresca	100%
T6**	Zona Caliente	0%
T7	Zona Caliente	25%
T8	Zona Caliente	50%
T9	Zona Caliente	75%
T10	Zona Caliente	100%

* Inclusión de la premezcla de aditivos en diferentes porcentajes (respecto a la dosis recomendada).

** Tratamiento control: alimento balanceado sin el coctel de aditivos).

4.3 Rendimientos productivos

Para evaluar el efecto de los tratamientos se calcularon los rendimientos productivos semanales y acumulados por semana. El consumo diario de alimento se obtuvo al pesar el alimento servido por semana menos la cantidad de alimento no consumido por los pollos y dividiéndolo entre 7 días. El peso corporal se obtuvo al pesar los pollos el primer día de edad y cada semana. Se pesaron las aves en conjunto por corral y este valor se dividió entre la cantidad de aves que se encontraban en cada corral, para esto se contabilizó la mortalidad diaria y se restó del inventario total de aves. Las ganancias de peso diarias se obtuvieron de la siguiente manera: al peso obtenido de la primera semana se le restó el peso inicial del pollito (primer día) y luego se dividió entre los 7 días. El resto de las semanas se calculó de forma similar sin tomar en cuenta el peso inicial.

La conversión alimenticia (CA) semanal, se calculó dividiendo el consumo de alimento acumulado por semana entre los pesos semanales y la CA ajustada, de la siguiente manera: $2,000\text{-peso promedio} / 0,10 \times 0,025 + \text{conversión alimenticia}$, para homogenizar la conversión a un mismo peso corporal. La conversión ajustada se calculó al final del ciclo. El

porcentaje de mortalidad acumulada se calculó dividiendo el número de pollos muertos por semana entre la cantidad de aves que iniciaron el periodo productivo.

Los rendimientos acumulados se obtuvieron de la sumatoria del rendimiento de la semana anterior más el rendimiento obtenido de la semana actual y así sucesivamente durante todas las semanas.

4.4 Calidad de la carne

Para conocer el efecto de los tratamientos sobre la calidad de la carne, al final del ciclo de engorde se calculó el rendimiento en canal para lo cual, se identificaron 20 aves por tratamiento en la granja antes de su procesamiento para obtener trazabilidad del peso vivo. Se pesaron las aves con 6 horas de ayuno de alimento en la granja y se pesó nuevamente los pollos, después del procesamiento, antes de separar las canales en piezas. El porcentaje de rendimiento en canal se obtuvo dividiendo el peso obtenido de la canal antes del despiece entre el peso vivo del animal en la granja, multiplicado por 100. Se separaron las canales de cada pollo en las siguientes piezas: muslos, alas, grasa interna, pechuga y filete de pechuga; cada una de estas se pesó.

El rendimiento de muslos se obtuvo dividiendo el peso obtenido de los muslos del pollo entre el peso del pollo antes de ser cortado multiplicándolo por 100. El rendimiento de alas se calculó dividiendo el peso de ambas alas entre el peso de la canal antes del despiece, multiplicado por 100. El porcentaje de grasa interna se obtuvo de la misma forma dividiendo el peso de la grasa obtenida de la canal entre el peso de la canal antes del despiece, multiplicado por 100. El rendimiento de pechuga se obtuvo dividiendo el peso de la pechuga con hueso entre el peso del pollo antes de ser cortado en piezas, multiplicando por 100. El rendimiento de filete de pechuga se calculó dividiendo el peso de la pechuga deshuesada entre el peso de la canal antes del despiece, multiplicado por 100.

Se escogieron al azar 10 pechugas por tratamiento a las que se les midió el pH, temperatura, retención de agua y fuerza de corte. El pH se midió con un pH-metro calibrado (marca Hanna Instruments FC2022), directamente en la pechuga, en la parte más ancha del músculo pectoral superficial según lo mencionado por Herrera (2015) y Chacón (2000). La medición del pH y la temperatura se realizaron en tres diferentes momentos: post mortem, 5 días después de refrigerado y antes de la cocción (6-14 días después de almacenaje en

congelación). Estos procedimientos se realizaron en el laboratorio de anatomía y fisiología animal de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica.

La prueba de retención de agua consistió en registrar el peso inicial de las pechugas y el peso posterior a la cocción. El proceso de cocción se realizó en un horno marca Oster 6052-013 a 300°C por 45 min y luego a 350°C por 5 min. Cada pechuga se volteó y se cocinó a 350°C por otros 5 min hasta que alcanzó la temperatura interna de 70°C. Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente por 15 minutos y se realizó el pesaje final para obtener el porcentaje de pérdida de humedad de la pechuga por diferencia entre el peso crudo y posterior a la cocción. Los pesajes se realizaron con una balanza marca Adam Equipment HCB 3001 y la medición de las temperaturas de las pechugas con termómetros marca B&C Germany BOE 315, en el laboratorio de anatomía y fisiología de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, según el procedimiento descrito por Herrera (2015) y Chacón (2000). Las pechugas cocidas se empacaron en bolsas individuales y se almacenaron a -70°C. Se asumió que el 100% de la pérdida fue de agua y la pérdida se calculó mediante la siguiente fórmula: Capacidad de retención de agua = (g de agua perdida/g de carne) x 100. Además, al líquido exudado se le midió el pH y la temperatura luego de 5 días del almacenamiento a 4C,º con un medidor de pH-metro calibrado marca Hanna Instruments FC2022.

A cada pechuga previamente cocida (10 pechugas por tratamiento), se le aplicó la prueba de fuerza de corte en el laboratorio de calidad de la carne del Instituto Tecnológico de Costa Rica en San Carlos, con un texturómetro marca G-R Shear Machine, modelo GR-151, utilizando el método de Warner-Bratzler. Se tomaron entre 4 y 6 submuestras de cada pechuga. Estas submuestras se obtuvieron al introducir un cilindro de acero inoxidable de 27 mm de diámetro, la introducción del cilindro se realizó a 90° con dirección a las fibras musculares. Cada submuestra se introdujo en el texturómetro y se registró la fuerza de corte, posterior a esto se promediaron los valores para obtener un valor por pechuga (Adaptado de: Chacón, 2000; Herrera, 2015; González, Oyague, Totosaus y Pérez, 2004).

4.5 Bienestar animal

El bienestar de los pollos se evaluó por medio de bioindicadores fisiológicos y el comportamiento de las aves en los diferentes tratamientos. A 12 aves por tratamiento (2 aves por corral o repetición) se les tomó muestras de sangre a los 14 días de edad de los pollos y al final del experimento (35 días de edad) a través de punción de la vena branquial.

A estas muestras se les realizó un análisis de concentración de corticosterona en suero sanguíneo utilizando un kit de ELISA (ensayo de inmunoabsorción ligado a enzimas) competitivo para corticosterona de la marca Cayman. Para dicho análisis se realizó una purificación de las muestras del suero, extracción de las muestras, preparación de los reactivos, incubación de las muestras y la lectura respectiva de acuerdo al procedimiento recomendado por el fabricante. La preparación de las muestras y la lectura se realizaron en el laboratorio de microbiología del Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA) y en el Centro de Investigación en Enfermedades Tropicales de la Facultad de Microbiología (CIET), respectivamente.

Otro bioindicador evaluado fue la temperatura corporal, la cual se midió en la cloaca y en la zona axilar con un termómetro digital marca Microlife. Se evaluaron 18 pollos por tratamiento, una vez por semana durante todo el período experimental.

Las fotografías termográficas de las instalaciones se realizaron con una cámara marca Fluke modelo TiS10. Se tomaron fotografías, una vez por semana a cada uno de los bloques (conjunto de 10 corrales distribuidos) en cada zona (3 bloques por zona) y al primer corral, al del medio y al último corral de cada uno de los bloques de ambas zonas; durante todo el ciclo experimental (Figura 8). Las fotos termográficas registraron la temperatura superficial promedio. Las temperaturas se analizaron mediante estadística descriptiva y se graficaron para observar diferencias térmicas en los bloques por zona o variaciones de los corrales entre los bloques y zonas.

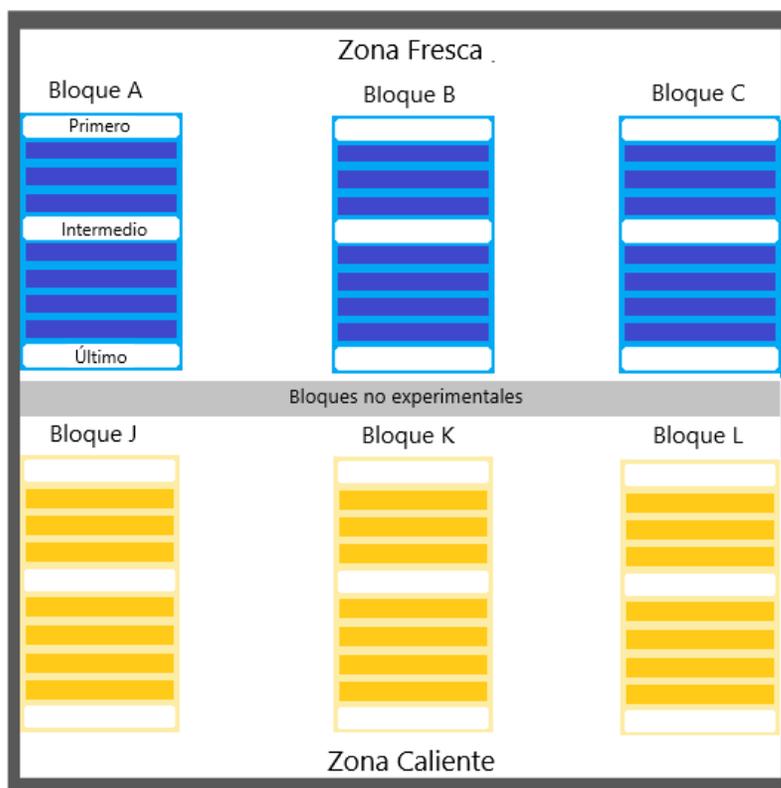


Figura 8. Distribución de los bloques y corrales dentro de la galera experimental.

Para evaluar el comportamiento de los pollos se realizaron etogramas cuatro días a la semana y cada día se evaluaron 6 corrales de los siguientes 4 tratamientos: 100% de inclusión tanto en la zona caliente como en zona fresca (T5 y T10) y 0% de inclusión en ambas zonas (T1 y T6). Los corrales se escogieron al azar todas las semanas, para obtener las frecuencias de los distintos comportamientos de los pollos. Se utilizó el método de observación directa. Las observaciones se realizaron siempre a la misma hora, por períodos de 10 minutos cada una, según los descrito por Shields, Garner y Mench (2005) y adaptado por Zamora (2019). Cada comportamiento observado se registró, se contabilizó y se dividió entre el número total de comportamientos evaluados para obtener un porcentaje. Se evaluaron los comportamientos descritos en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Etograma desarrollado para el experimento.

Comportamiento	Definición
Acicalarse	Cuando el ave arregla sus plumas con su pico.
Echarse/ Descansar	Cuando el pecho del ave está en contacto con la cama, ojos abiertos o cerrados.
Estirarse	Cuando extiende una extremidad (alas o patas) lejos de su cuerpo, puede ser de pie o descansando.
Jadear	Cuando respira forzosamente abriendo el pico.
Comer	Cuando está comiendo del comedero no importa si está de pie o descansando.
Beber	Cuando el ave toma agua de la tetina o niple.

4.6 Análisis estadístico

En este experimento se consideraron dos tipos de unidades experimentales. Para los rendimientos productivos, de comportamiento, indicadores de calidad de carne, temperaturas corporales y concentraciones de corticosterona la unidad experimental fue el corral. Para las variables de temperatura ambiental la unidad experimental fue la zona experimental (fresca o caliente).

Las variables se analizaron por medio del programa estadístico proc Mixed de SAS®. Por medio de un análisis de varianza (ANOVA) para un diseño experimental de parcelas divididas donde se consideró la zona (fresca o caliente) como la parcela grande y el nivel de inclusión del coctel como la parcela pequeña. El modelo que se utilizó fue un modelo mixto.

Para las variables productivas, comportamiento, calidad de la carne y niveles de corticosterona se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + Z_i + I_j + ZI_{ij} + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación que corresponde al i-ésimo tratamiento de zona experimental, j-ésimo tratamiento de inclusión.

μ = Media general.

Z_i = Efecto del i-ésimo tratamiento de zona experimental (zona caliente y zona fría).

I_j = Efecto del j-ésimo tratamiento de inclusión (0%, 25%, 50%, 75%, 100%).

ZI_{ij} = Efecto de la interacción del i-ésimo tratamiento de zona experimental con el j-ésimo tratamiento de inclusión.

E_{ij} : Término de error aleatorio asociado a Y_{ij} .

Para la variable temperatura corporal se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + Z_i + I_j + ZI_{ij} + (C)_k + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Observación que corresponde al i-ésimo tratamiento de zona experimental, j-ésimo tratamiento de inclusión (k-ésimo corral como factor aleatorio).

μ = Media general.

Z_i = Efecto del i-ésimo tratamiento de zona experimental (zona caliente y zona fría).

I_j = Efecto del j-ésimo tratamiento de inclusión (0%, 25%, 50%, 75%, 100%).

ZI_{ij} = Efecto de la interacción del i-ésimo tratamiento de zona experimental con el j-ésimo tratamiento de inclusión.

C_k = Efecto del k-ésimo corral como factor aleatorio.

E_{ijk} : Término de errores aleatorios asociado a Y_{ijk} .

Para las variables de temperatura ambiental se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ilm} = \mu + Z_i + H_l + ZH_{il} + (D)_m + E_{ilm}$$

Donde:

Y_{ilm} = Observación que corresponde al i-ésimo tratamiento de zona experimental y l-ésimo tratamiento de hora (m-ésimo día como factor aleatorio).

μ = Media general.

Z_i = Efecto del i -ésimo tratamiento de zona experimental (zona caliente y zona fría).

H_l = Efecto del l -ésimo tratamiento de hora (9am, 12md, 3pm).

ZH_{il} = Efecto de la interacción del i -ésimo tratamiento de zona experimental con el l -ésimo tratamiento de hora.

D_m = Efecto del m -ésimo día como factor aleatorio.

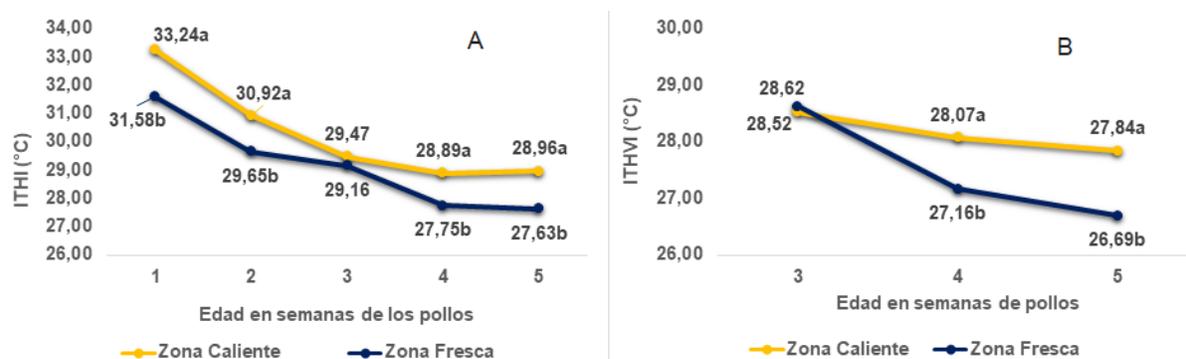
E_{ilm} : Término de errores aleatorios asociado a Y_{ilm} .

Para determinar las diferencias significativas se utilizó la prueba Tukey y Tukey-Kramer con un nivel de significancia de $p < 0,05$ para todas las variables, excepto para el comportamiento de los pollos donde se utilizó un nivel de significancia de $p < 0,10$.

5.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Zonas experimentales

Para evaluar las condiciones ambientales de las dos zonas experimentales zona fresca y zona caliente, se calcularon los índices de calor o de sensación térmica. Como se muestra en la Figura 9, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el Índice de Temperatura y Humedad (ITHI) entre las zonas en las semanas 1, 2, 4 y 5 del experimento, obteniendo mayores Índices en la zona caliente. Para el Índice de Temperatura, Humedad y Velocidad de viento (ITHVI) se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas en las semanas experimentales 4 y 5 del ciclo productivo, se obtuvieron mayores ITHVI para la zona caliente.



a, b. Letras diferentes entre la misma semana indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figura 9. Promedio del Índice de temperatura y humedad (ITHI) (A) e Índice de temperatura, humedad y velocidad del viento (ITHVI) (B) semanales en las dos zonas experimentales (fresca y caliente).

El ITHVI no se calculó en la primera y segunda semana experimental, ya que, la velocidad de viento fue de 0 m/s, por lo tanto, no tuvo efecto sobre la sensación térmica del ambiente en ambas zonas experimentales. Para ambos índices no se encontró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre zonas en la tercera semana experimental, esto pudo ser provocado por el cambio de ventilación mínima a ventilación túnel en toda la galera experimental, durante la tercera semana. Durante este período de cambio en el control

ambiental general, se extrajo más aire en la zona caliente (1,14 m/s) debido a su cercanía con los extractores (Figura 4) esto pudo generar una reducción en la temperatura ambiental por efecto de la velocidad del aire (Figura 7).

Las diferencias logradas en los índices de calor (ITHI e ITHVI) de aproximadamente de 1°C, en ambas zonas experimentales, no fueron suficientes para observar interacciones entre las zonas experimentales y los porcentajes de inclusión de los aditivos contra el estrés calórico ($p>0,05$) sin embargo; se observaron diferencias significativas ($p<0,05$) en los rendimientos productivos entre zonas experimentales (Cuadro 10). Otros autores (Imik, Ozlu et al., 2012; Lu, Wen y Zhang, 2007; Oliveira Neto et al., 2000; Sakomura et al., 2013; Vieites et al., 2011) observaron diferencias entre zonas de termoneutralidad y de estrés calórico con diferencias en la temperatura ambiental de entre 6°C y 13°C.

5.2 Efecto de los tratamientos en los rendimientos productivos

La respuesta observada en los rendimientos productivos de los pollos se vio afectada por la zona experimental (fresca y caliente) y por el porcentaje de inclusión del coctel de aditivos de forma independiente. La interacción entre ambos factores no fue significativa en el modelo estadístico.

Al no haber interacción entre estos dos factores (zona experimental y porcentaje de inclusión de aditivos), se presentaron los resultados por cada efecto de manera independiente.

5.2.1 Efecto de la zona experimental sobre los rendimientos productivos

En el Cuadro 10 se muestran los rendimientos acumulados de peso corporal, consumo de alimento, conversión alimenticia (CA), conversión alimenticia ajustada a 2 kg, ganancia diaria de peso diaria (GDP) y el porcentaje de mortalidad acumulada semanal que se obtuvo a lo largo del período experimental.

Cuadro 10. Rendimientos productivos acumulados semanales, según la zona experimental.

Día	Zona	Peso corporal (g)	Consumo de alimento (g)	CA	CA Aj 2kg	GDP (g)	Mortalidad (%)
0-7	Caliente	182 ^a	143 ^a	0,785	-	19,80 ^a	-
	Fresca	176 ^b	138 ^b	0,782	-	18,97 ^b	-
	Valor p	0,0055	0,0395	0,7921	-	0,0039	-
0-14	Caliente	431 ^a	474 ^a	1,101	-	27,68 ^a	0,20
	Fresca	417 ^b	461 ^b	1,105	-	26,69 ^b	0,40
	Valor p	0,0125	0,0046	0,7100	-	0,0110	0,2998
0-21	Caliente	880	1098	1,249	-	39,84	1,00
	Fresca	869	1081	1,244	-	39,31	1,07
	Valor p	0,2496	0,0517	0,3625	-	0,2375	0,8708
0-28	Caliente	1415	1952	1,379 ^a	-	48,99	1,47
	Fresca	1440	1959	1,360 ^b	-	49,88	1,80
	Valor p	0,0835	0,6227	0,0174	-	0,0870	0,6093
0-35	Caliente	1942 ^b	2881	1,483 ^a	1,498 ^a	55,50 ^b	1,35 ^b
	Fresca	2027 ^a	2950	1,457 ^b	1,449 ^b	57,92 ^a	2,60 ^a
	Valor p	0,0065	0,0993	0,0261	0,0016	0,0066	0,0269

a, b. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

CA: conversión alimenticia, CA aj: conversión alimenticia ajustada a 2kg, GDP: ganancia diaria de peso.

Se obtuvo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el peso corporal entre la zona fresca y la zona caliente en las semanas 1, 2 y 5 de edad. En el consumo de alimento se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas solamente en las semanas 1 y 2 de edad de los pollos. En conversión alimenticia se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en las semanas 4 y 5, se obtuvieron menores conversiones alimenticias en los pollos de la zona fresca. La conversión alimenticia ajustada mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las dos zonas en la semana 5 y la ganancia de peso mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas en la semana 1, 2 y 5, con mayores ganancias de peso para la zona caliente en las semanas 1 y 2 y ganancias de peso mayores a la semana 5 en los pollos de la zona

fresca. Se obtuvo diferencia significativa ($p < 0,05$) en el porcentaje de mortalidad acumulada entre zonas solamente en la semana 5 de edad de los pollos, se encontraron mayores porcentajes para la zona fresca.

Estrada et al. (2007), Quinteiro-Filho et al. (2012), Vale et al. (2010) y Zeferino et al. (2016) coinciden que la temperatura es un factor de aumento de mortalidad cuando este valor está por encima de los 33°C en las últimas semanas del ciclo (4 y 5). En este estudio la mortalidad no fue mayor en la zona caliente, esto se debió posiblemente, a que la diferencia entre zonas fue muy pequeña y que la temperatura no sobrepasó los 30°C (Figura 5).

El peso corporal en las dos primeras semanas de vida del pollo fue mayor en la zona caliente, este comportamiento productivo se puede deber a que la sensación térmica lograda en la zona caliente durante este período fue más cercana (Figura 9), a lo recomendado por la casa genética Cobb-Vantress (Cuadro 3). Al final del ciclo experimental, el peso fue menor en los pollos de la zona caliente, resultados similares a los reportados por Cucă y Dinu (2017), Garriga et al. (2006), Mello et al. (2015), Quinteiro-Filho et al. (2010) y Quinteiro-Filho et al. (2012), quienes en la última semana de vida, observaron diferencias en el peso corporal, siendo la sensación térmica un depresivo de este rendimiento y afectando al pollo en mayor medida al final del ciclo.

Altas temperaturas ambientales tienen un efecto negativo sobre el consumo de alimento provocando una reducción en el tamaño del intestino y bajos pesos corporales (Garriga et al., 2006). La integridad de la mucosa intestinal de los pollos se ve afectada en pollos en estrés calórico y esto a su vez compromete a la absorción de nutrientes, debido a que hay daño de enterocitos, provocando una reducción de digestibilidad de nutrientes (Attia et al., 2017; Marchini et al., 2009; Quinteiro-Filho et al., 2010; Quinteiro-Filho et al., 2012). La disminución de digestibilidad y absorción de nutrientes en animales en estrés calórico puede ser explicada también por un aumento en el consumo de agua que el animal realiza con el fin de regular su temperatura interna y este exceso de consumo de agua provoca un mayor tránsito intestinal (Cucă y Dinu, 2017). Las condiciones antes expuestas pueden explicar en gran medida las mayores conversiones alimenticias en los pollos de la zona caliente.

El estrés provoca la liberación de corticosterona, la cual actúa sobre el núcleo hipotalámico, donde este regula el consumo de alimento, el consumo de agua y la satisfacción del animal (Quinteiro-Filho et al., 2010; Quinteiro-Filho et al., 2012). La corticosterona también retrasa el crecimiento del intestino, disminuye la altura de las

vellosidades y la profundidad de las criptas del duodeno y el yeyuno, provocando una disminución en la digestibilidad aparente de la proteína (Hu y Guo, 2008). Esto puede explicar los bajos pesos, ganancias diarias y, por ende, las mayores conversiones alimenticias en los pollos de la zona caliente.

Del primer día de edad a los 21 días, Oliveira et al. (2006) observaron una disminución de un 14,7% en el consumo de alimento en aves en ambientes con altas temperaturas ambientales. Del día 1 a los 41 días, los mismos autores reportaron menor consumo de alimento en las aves que se encontraron en un estrés térmico húmedo (31,3°C y 73,4%HR) comparado al estrés calórico seco (menor humedad ambiental 35°C y 45,6%HR). Debido a la disipación ineficiente de calor en ambientes húmedos (más de 70% de humedad relativa) y a una saturación de agua en el ambiente, que no les permite eliminar calor latente, las aves disminuyen el consumo de alimento para disminuir la producción de calor metabólico (Carvalho et al., 2013). Oliveira et al. (2006) reportan menor GDP en los animales con estrés térmico húmedo comparado al tratamiento control y al estrés térmico seco en los días 21 y 41 de edad de los pollos. También observaron CA superiores en pollos bajo estrés de calor a los 21 días de edad.

Díaz, Narváez-Solarte y Giraldo (2016) encontraron en pollos de 42 días de edad, consumos de alimento inferiores, pesos corporales inferiores de hasta un 25%, mayores conversiones alimenticias y mortalidades de hasta un 73% más, en los animales que se encontraban en estrés crónico (30±0,8°C y 77%HR) con respecto a los pollos en ambiente convencional con fluctuaciones de temperaturas durante el día (29,9±7,5°C y 82%HR). Los resultados de Shaddel-tili et al. (2016) mostraron que el estrés gradual (32°C-36°C del día 1 al 5 y 32°C día 6-49) en el periodo de crianza de pollos tiene un mayor efecto en la termotolerancia, ya que encontraron mejores CA al final del ciclo, comparado a los que se encontraron bajo un estrés agudo (32°C día 1-4, 36°C día 5-6 y 32°C día 6-49).

5.2.2 Efecto de la inclusión de aditivos en la dieta sobre los rendimientos productivos

En el Cuadro 11 se muestran rendimientos productivos semanales acumulados de peso corporal, consumo de alimento, conversión alimenticia (CA), conversión alimenticia ajustada a 2 kg, ganancia diaria de peso diaria (GDP) y el porcentaje de mortalidad semanal acumulada que se obtuvo a lo largo del experimento de acuerdo al porcentaje de inclusión del coctel de aditivos en la dieta. No se observaron diferencias significativas ($p>0,05$) en el

consumo de alimento, en la conversión alimenticia ajustada a 2 kg y en el porcentaje de mortalidad acumulada durante el experimento, debido al efecto de la inclusión de los aditivos en la dieta.

Cuadro 11. Rendimientos productivos semanales acumulados obtenidos de acuerdo al porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta.

Días	Inclusión	Peso corporal (g)	Consumo (g)	CA	CA Aj 2kg	GDP (g)	Mortalidad (%)
0-7	0%	175 ^b	139	0,792	-	18,77 ^b	-
	25%	176 ^b	141	0,799	-	18,98 ^b	-
	50%	179 ^b	140	0,779	-	19,38 ^b	-
	75%	180 ^b	139	0,777	-	19,46 ^{ab}	-
	100%	186 ^a	143	0,773	-	20,33 ^a	-
	Valor p	0,0002	0,6820	0,5451	-	0,0002	-
0-14	0%	420 ^b	467	1,114	-	26,88 ^b	0,50
	25%	419 ^b	464	1,110	-	26,81 ^b	0,33
	50%	425 ^{ab}	467	1,098	-	27,26 ^{ab}	0,33
	75%	420 ^b	462	1,101	-	26,89 ^b	0,33
	100%	437 ^a	476	1,091	-	28,09 ^a	0,00
	Valor p	0,0117	0,1218	0,2761	-	0,0139	0,5746
0-21	0%	860 ^b	1092	1,270 ^a	-	38,89 ^b	1,00
	25%	865 ^b	1081	1,251 ^b	-	39,10 ^b	1,50
	50%	877 ^{ab}	1086	1,240 ^b	-	39,68 ^{ab}	0,83
	75%	874 ^b	1080	1,237 ^b	-	39,56 ^{ab}	1,00
	100%	898 ^a	1107	1,234 ^b	-	40,67 ^a	0,83
	Valor p	0,0014	0,1111	0,0001	-	0,0015	0,8352
0-28	0%	1399 ^b	1977	1,415 ^a	-	48,40 ^b	1,50
	25%	1428 ^{ab}	1955	1,368 ^b	-	49,45 ^{ab}	2,17
	50%	1430 ^{ab}	1942	1,358 ^b	-	49,51 ^{ab}	1,83
	75%	1423 ^{ab}	1933	1,358 ^b	-	49,28 ^{ab}	1,00
	100%	1459 ^a	1969	1,349 ^b	-	50,54 ^a	1,67
	Valor p	0,0438	0,1701	0,0001	-	0,0457	0,7293
0-35	0%	1944	2898	1,491	1,505	55,56	1,50
	25%	1982	2929	1,478	1,484	56,63	2,17
	50%	1980	2900	1,467	1,469	56,57	2,33
	75%	1985	2891	1,458	1,462	56,70	1,33
	100%	2033	2958	1,455	1,448	58,08	2,54
	Valor p	0,0549	0,3721	0,2844	0,1461	0,0551	0,5661

a, b. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

CA: conversión alimenticia, CA aj: conversión alimenticia ajustada a 2kg, GDP: ganancia diaria de peso.

Se obtuvo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el peso corporal entre todos los tratamientos (0-75%) y el 100% de inclusión del coctel, entre 0, 25, 50 y 75% no se dieron

diferencias significativas, en las semanas 1, 2 y 3 de edad. Entre el 0% y el 100% de inclusión se encontraron diferencias significativas para la semana 4, los pollos que se alimentaron con el 100% de inclusión en el alimento mostraron pesos corporales más altos. En la conversión alimenticia se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en las semanas 3 y 4 entre el control y todos los tratamientos de inclusión 25, 50, 75 y 100%, entre los diferentes niveles de inclusión no se dieron diferencias significativas, se obtuvieron menores conversiones alimenticias en los pollos que consumieron un 25% en adelante de inclusión en el alimento comparado al control. La ganancia diaria de peso mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) con inclusión de entre 50% y 100% durante la semana 1 de edad de los pollos; entre el 75% y el 100% para la semana 2, entre un 25% y 100% en la semana 3 y por último para la semana 4 entre el 0% y el 100% de inclusión en el alimento, los animales que consumieron 100% del coctel en el alimento ganaron en todas las semanas más peso por día.

Sahin et al. (2002), reportaron resultados similares a los encontrados en este trabajo, al incrementar la inclusión de cromo 0, 200, 400, 800 y 1200 $\mu\text{g Cr/kg}$ en la dieta en forma de picolinato de cromo, obtuvieron pesos corporales y consumos de alimento superiores, conversiones alimenticias inferiores en pollos de 21 y 42 días de edad, expuestos a estrés de calor ($32,8^{\circ}\text{C}$). Toghyani, Shivazad, Gheisari y Zarkesh (2006), reportaron que el peso corporal y la ganancia de peso diaria, en aves de 21 y 42 días de edad, aumentaron cuando se incrementó la inclusión de cromo en la dieta 0, 500, 1000, 1500 ppb en forma de picolinato de cromo, a una temperatura de 33°C . En esta investigación el rango de cromo utilizado fue de 0 a 0,410 kg/ton, estas inclusiones se encontraron dentro del rango de Sahin et al. (2002) y fueron inferiores a las reportadas por Toghyani et al. (2006).

Ghazi, Habibian, Moeini y Abdolmohammadi (2012), encontraron que el uso de cromo en la dieta (0, 600 y 1,200 $\mu\text{g/kg}$ cloruro de cromo o 600 y 1,200 $\mu\text{g/kg}$ cromo-L-metionina) no influyó en los rendimientos productivos de pollos de 49 días con estrés calórico ($23,9\text{--}37^{\circ}\text{C}$, 55%HR). Moeini, Bahrami, Ghazi y Targhibi (2011) tampoco obtuvieron resultados en peso corporal, ganancia diaria de peso, el consumo de alimento ni en la conversión alimenticia en pollos a los 10, 21 y 42 días de edad con estrés de calor (33°C), al utilizar cromo de distintas fuentes (orgánica e inorgánica) y con diferentes niveles de inclusión (0, 800 y 1200 ppm) en la dieta. Ambos autores difieren con lo encontrado con este experimento, ya que con inclusiones inferiores a los de ambos autores (410 kg/ton) se

encontraron efectos en los rendimientos productivos, esto también puede estar asociado al efecto total de los aditivos utilizados y no solo a la inclusión de cromo en la dieta.

Resultados similares fueron obtenidos por Attia, Hassan, Tag El-Din y Abou-Shehema (2011), quienes añadieron vitamina C (250 mg/kg) en la dieta de pollos de engorde de 21 a 42 días de edad en estrés térmico (38°C y 60%HR) por 4h durante 3 días consecutivos cada semana, estos autores encontraron un aumento en la ganancia de peso, mejor conversión alimenticia en animales que consumían el aditivo de vitamina C en su dieta, comparados con pollos que consumieron la dieta control. Estos resultados generados por Attia et al. (2011), fueron similares a los de este experimento, en el cual se incluyó un ámbito de 0 a 0,581 kg/ton de vitamina C, la cual se encuentra por encima de la inclusión utilizada por estos autores.

Según Imik, Ozlu et al. (2012), la vitamina C al ser un antioxidante, disminuye las especies reactivas de oxígeno que se generan para cumplir con los requerimientos de energía y que afectan a los animales que se encuentran en estrés por calor. Mahmoud, Edens, Eisen y Havenstein (2004), obtuvieron un aumento en la defensa antioxidante en pollos bajo estrés calórico cíclico de 21°C-30°C-21°C por 3,5h y por 3 días consecutivos y suplementados con una inclusión de 500 mg/kg de vitamina C.

Lohakare et al. (2005) encontraron que de 0-21 días de edad de los pollos, mayor inclusión de vitamina C tuvo efecto en el peso corporal, en el consumo de alimento y en la conversión alimenticia. En pollos de 0 a 42 días de edad, observaron diferencias significativas en el peso corporal con respecto al control, con inclusiones de vitamina C de 100-200 ppm. No observaron efecto en el consumo de alimento ni en la CA. Estos resultados son similares a los reportados por Attia et al. (2017) en un estudio realizado de pollos de engorde. Lohakare et al. (2005), quienes también encontraron mayor digestibilidad de los nutrientes cuando se suplementó con vitamina C, observaron que niveles de suplementación de vitamina C de 200 ppm favorecen la inmunidad y los rendimientos productivos de pollos que se encuentran bajo estrés calórico. Por el contrario, Zeferino et al. (2016), no encontraron diferencias en los rendimientos productivos: peso corporal, GDP, consumo de alimento, CA y mortalidad, en pollos que consumieron vitamina C (257-288mg/kg) en la dieta, comparados con los que se alimentaron de la dieta control. En este experimento se encontraron mejores resultados en la inclusión de 100% de aditivos con 0,581 kg/ton de vitamina C, valores superiores a los reportados por Zeferino et al. (2016).

Los resultados reportados por Amerah y Ravindran (2015), Gavrau y Starke (2017), Honarbakhsh, Zaghari y Shivazad (2007), Mostashari-Mohases, Sadeghi, Ahmadi y Esmailkhanian (2017), Remus (2002) y Shaojun et al. (2015) fueron similares a los obtenidos en este trabajo, estos autores también observaron diferencias en el peso corporal y en la conversión en pollos que consumieron alimento con una inclusión de betaína de 0,09% a 0,225% en comparación a los que consumieron una dieta control en la etapa de finalización. Chand et al. (2017) también encontraron diferencias en el peso corporal semanal y en el peso acumulado a los 42 días de edad, al aumentar la inclusión de betaína (1, 1,5 y 2 g/kg de alimento) y observaron una diferencia de 12,5% más en consumo de alimento que las del grupo control. La inclusión de 2 g de betaína/kg de alimento en la dieta mejoró la CA en un 3,43% comparado con los pollos control. Hamidi, Jahanian y Pourreza (2010) encontraron un efecto significativo al aplicar la suplementación de betaína (1,2 g/kg), cuando los pollos se expusieron al estrés por infección con coccidia en los días 21 a 42 de edad, observaron diferencias en la ganancia diaria de peso y en la CA. Un aumento en la digestibilidad de la energía, nitrógeno, lípidos, cenizas, almidones, aminoácidos y una reducción de las lesiones en duodeno por coccidia y en la parte inferior del yeyuno, en pollos que consumieron betaína a una inclusión de 960 g/ton de alimento, fue reportado por (Amerah y Ravindran, 2015). Resultados similares fueron obtenidos en este experimento, ya que, con una inclusión de 1,010 kg/ton de betaína, se observaron rendimientos mayores en los pollos de engorde. La dosis utilizada en este experimento se encuentra en el ámbito de las inclusiones utilizadas por los autores mencionados.

La betaína mejora las características intestinales y mejora el desempeño gastrointestinal (digestión y absorción de nutrientes) (Akhavan-Salamat y Ghasemi, 2016; Hamidi et al., 2010; Mostashari-Mohases et al., 2017). Ismail et al. (2019), encontraron vellosidades intestinales de mayor longitud, mayor número de células caliciformes por área intestinal, mayor cantidad de mucosidad bactericida, aumento en la absorción de nutrientes y mejores pesos corporales y conversiones alimenticias en pollos suplementados con betaína. La betaína actúa como antioxidante, disminuyendo el estrés oxidativo en los pollos, mantiene niveles superiores de superóxido dismutasa (enzima antioxidante) y disminuye la peroxidación lipídica del músculo de la pechuga en estrés calórico (Akhavan-Salamat y Ghasemi, 2016). La mejora de la CA se explica porque la betaína, al ser un osmolito, reduce la osmolaridad y la humedad en el intestino de pollos infectados con coccidia (Eklund, Bauer, Wamatu y Mosenthin, 2005). Eklund et al. (2005) y Hamidi et al. (2010) reportan que la

betaína protege las células del estrés osmótico promoviendo condiciones normales cuando probablemente estarían inactivas. Mejores rendimientos productivos se pueden observar debido a las propiedades osmóticas de la betaína y la capacidad de retención de agua en los tejidos, efecto que podría tener influencia en el peso corporal de los pollos que consumieron betaína en el alimento (Mostashari-Mohases et al., 2017) .

Sakomura et al. (2013) no encontraron efecto de la inclusión 0,092, 0,096, 0,065 y 0,05% de betaína en el peso corporal y la CA de pollos de engorde de 45 días de edad. Honarbakhsh et al. (2007) no observaron efecto sobre el consumo de alimento, ni en la mortalidad de los animales de 42 días que consumieron alimentos con inclusión de 0,075, 0,150 y 0,225% de betaína. El efecto de la betaína (inclusión de 0,5 y 1 g/kg) sobre el peso corporal, el consumo de la alimento y la CA, en pollos infectados con *Eimeria acervulina* no fue observado por Klasing, Adler, Remus y Calvert (2001), sin embargo; estos autores reportaron disminución en la osmolaridad del epitelio duodenal y aumento en la altura de las vellosidades intestinales. Hamidi et al. (2010) no encontraron efecto sobre la ganancia diaria de peso, CA en pollos de 7-21 días de edad. Similar a los reportado por Zulkifli, Mysahra y Jin (2004) y Pereira et al. (2010), quienes no encontraron efecto del uso de betaína en la dieta en peso corporal, consumo de alimento, GDP, CA y mortalidad en pollos que consumieron betaína entre 1 y 35 días de edad. Estos autores difieren con lo encontrado en este trabajo, ya que, con una inclusión de 1,010 kg/ton, se encontró un efecto positivo en los rendimientos productivos de los animales, esto se pudo deber al afecto de la betaína y al efecto total de la inclusión de los demás aditivos del coctel.

Similar a los resultados obtenidos en este trabajo, Ibrahim et al. (2011) y Funari Junior et al. (2010) encontraron mayores pesos y ganancias de peso diarias con una dosis de selenio de 0,45 ppm y 0,125 ppm en la dieta de los pollos en la etapa de finalización. Niu, Liu et al. (2009), también encontraron un efecto de la inclusión de selenio (0,2 y 0,4 mg/kg), ya que, la CA disminuyó en los animales que consumieron el aditivo, aunque no encontraron una disminución lineal. Selim et al. (2015) también reportaron un efecto, tanto de la inclusión de selenio (0,15 y 0,30 ppm), como del tipo de fuente (orgánico e inorgánico), sobre variables productivas peso, ganancia diaria y CA, mejorándolas durante todo el periodo de prueba con respecto al control. Y Ahmadi, Ahmadian y Seidavi (2018) encontraron un efecto de la inclusión de selenio (0,1, 0,2, 0,3, 0,4 y 0,5 mg/kg) sobre los rendimientos productivos, mayor peso y una mejor CA en los pollos de engorde a lo largo del ciclo productivo. Estos resultados similares fueron obtenidos en este estudio, ya que los mejores resultados de

rendimientos productivos se encontraron cuando se incluyó una dosis de 0,060 kg/ton de selenio en la inclusión de 100% del coctel en la dieta.

El selenio puede mejorar la inmunocompetencia de los pollos de engorde que se encuentran que bajo estrés (Niu, Liu et al., 2009). Dalia et al. (2017), Downs, Hess y Bilgili (2000) e Ibrahim et al. (2011) observaron que el selenio es un agente antioxidante que protege los nutrientes de la oxidación, provoca menor daño (Perić et al., 2009) y resistencia oxidativa (Cai et al., 2012), disminuyendo la peroxidación lipídica originada por el estrés oxidativo (Briens et al., 2013). Ahmadi et al. (2018), reportó un uso más eficiente de la energía y la proteína en los animales que consumieron en su dieta selenio. Por el contrario, Briens et al. (2013), Cai et al. (2012), Dalia et al. (2017), Downs et al. (2000), Hada et al. (2013) y De Medeiros et al. (2012) no encontraron ningún efecto por la inclusión o el tipo de fuente de selenio en el peso corporal, consumo de alimento, ganancia diaria de peso diaria, conversión alimenticia y mortalidad de pollos de engorde.

La inclusión de 100% del coctel con una dosis de 0,387 kg/ton de carbonato de potasio (K_2CO_3) en el alimento en este experimento, mostró los mejores rendimientos en los pollos de engorde. Al igual que lo observado en este experimento, Vieites et al. (2011) reportaron un efecto positivo por el uso de electrolitos (270-300 mEq/kg) como carbonato de potasio (K_2CO_3) en los rendimientos productivos de pollos de engorde y observaron mayores pesos corporales en las etapas iniciales y finales de producción. Cuando los animales se encontraron bajo un estrés térmico (35°C y 70%HR), Smith y Teeter (1987), encontraron mayor peso corporal y menor CA en los animales que consumieron 1,5-2,0% de inclusión de K y KCl en la dieta, comparados con el tratamiento control. Reece et al. (2000) obtuvieron menores pesos corporales en las semanas 12, 16 y 18 de edad de los pavos que consumieron K en la dieta con una inclusión de 50% más de K que la dieta control y no encontraron efectos sobre la CA.

Las condiciones ambientales, pueden tener influencia en el balance electrolítico de las aves. El balance ácido-base de los fluidos del cuerpo, al igual que la presión osmótica y el metabolismo del agua, es regulado por iones esenciales como sodio (Na^+), potasio (K^+) y cloro (Cl^-) (Silva et al., 2006; Vieites et al., 2011). Los animales bajo estrés de calor, sufren alcalosis respiratoria (Vieites et al., 2011), que aumenta la excreción renal de sodio y potasio; esta pérdida también puede ser ocasionada por el aumento de consumo de agua, ya que, beneficia el movimiento de agua del fluido celular para la formación de la excreta (López,

Velásquez y Solarte, 2014; Martín et al., 2017). El potasio participa en procesos como la conducción nerviosa, excitación, contracción muscular, síntesis de proteínas y reacciones enzimáticas. Cambios en la homeostasis del potasio este puede afectar las funciones celulares y las respuestas productivas de las aves (Borges, Silva, Maiorka, Federal y Brasil, 2007; Vieites et al., 2011). Vieites et al. (2011), recomienda el uso de compuestos como K_2CO_3 o $NaHCO_2$, con el objetivo de elevar los niveles de bicarbonato en el plasma y restablecer los niveles normales.

Zarrin-Kavyani et al. (2018) y Zarrin-Kavyani, Khatibjoo, Fattahnia y Taherpour (2020) no encontraron efecto al utilizar carbonato de potasio (0,94%) en la dieta de los pollos de engorde comparado con el control (0,85%), en el consumo de alimento, peso corporal y CA durante todas las etapas de producción (inicio, crecimiento y finalización). Ansari, Khalaji y Hedayati (2020) no encontraron diferencias entre la dieta control y una dieta con carbonato de potasio, pero si observaron efecto de acuerdo con la fuente de potasio, se obtuvieron mayores pesos corporales con la inclusión de fosfato dipotásico (K_2PO_4) en el agua de bebida, comparado a la dieta control y el uso de K_2CO_3 en alimento, al finalizar el ciclo productivo de 42 días. Estos estudios difieren con lo encontrado en este trabajo, aunque el efecto positivo sobre los rendimientos productivos encontrado se podría deber al efecto de la mezcla de los aditivos.

No se encontraron reportes previos del uso de mezclas o combinaciones de los aditivos utilizados en este experimento para pollos de engorde en estrés calórico, que apoye el posible efecto sinérgico de los aditivos del coctel sobre los rendimientos productivos observados.

5.2.3 Efecto de la zona experimental en los rendimientos en canal

En el Cuadro 12, se muestran los resultados obtenidos en los rendimientos en canal de los pollos, según la zona experimental. No se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) para las variables porcentaje de grasa, rendimiento de muslos y rendimiento de pechuga según la zona experimental en donde se encontraban los pollos. Por otro lado, se observaron diferencias significativas ($p<0,05$) en el rendimiento de canal, rendimiento de alas y filete de pechuga entre zonas. Se obtuvo un mayor rendimiento de canal y de alas en los pollos de la zona caliente y un mayor rendimiento de filete de pechuga en los pollos que se encontraron en la zona fresca.

Cuadro 12. Rendimientos en canal obtenidos de acuerdo a la zona experimental.

Rendimientos	Zona Experimental		Valor p
	Fresca	Caliente	
Rendimiento de canal (%)	70,31 ^b	71,13 ^a	0,0003
Rendimiento Grasa (%)	0,48	0,53	0,3141
Rendimiento Alas (%)	8,18 ^b	8,32 ^a	0,0175
Rendimiento Muslos (%)	10,36	10,22	0,3539
Rendimiento Filet de pechuga (%)	21,31 ^a	20,44 ^b	0,0002
Rendimiento Pechuga (%)	32,69	32,52	0,4847

a, b. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Lu et al. (2007) y Oliveira et al. (2006) reportaron resultados similares y observaron rendimientos superiores en el rendimiento en canal, rendimiento de muslos y rendimientos inferiores en el porcentaje de pechuga y en el porcentaje de grasa de pollos expuestos a estrés calórico (31-34°C) comparado con los que se encontraban en ambientes óptimos (21°C). Zeferino et al. (2016) también encontraron un rendimiento de alas superior en las aves expuestas por un estrés térmico (32°C) similar a lo reportado en este experimento. Lo observado en el rendimiento de las alas podría ser explicado por un efecto relativo, debido al peso de las partes y al peso total de la canal. Pesos de alas similares divididos entre pesos de canal mayores podría explicar el menor rendimiento de alas en la zona fresca. Pesos de alas similares entre menores pesos de canal en la zona caliente explican los mayores rendimientos de alas en la zona caliente.

En pollos de engorde sometidos a estrés calórico (32,3°C) se han encontrado menores rendimientos de alas y pesos absolutos de canal. Se han observado menores pesos de molleja, proventrículo, intestino, hígado, corazón y pulmones, obteniendo bajos pesos de canal pero mayores rendimientos en canal (Oliveira Neto et al., 2000). Mello et al. (2015) ha reportado menores pesos absolutos de la canal en pollos expuestos a estrés de calor (32°C).

Los resultados de Sakomura et al. (2013) difieren de los resultados obtenidos en este experimento, ya que, no encontraron diferencias significativas en el rendimiento en canal, ni en el porcentaje de pechuga entre zonas de estrés calórico (25-31°C) y de termoneutralidad (25-26°C). Attia et al. (2017) encontraron un rendimiento de canal superior en los animales

que se criaron en condiciones de temperatura óptimas (25°C y 55%HR) comparados con los que se encontraban en estrés de calor por 7 h al día por tres días consecutivos por semana (36°C y 75-85%HR).

5.2.4 Efecto de la inclusión de aditivos en la dieta sobre los rendimientos en canal.

En el Cuadro 13 se muestran los resultados de los rendimientos en la planta de cosecha de los pollos, de acuerdo con el nivel de inclusión del coctel de aditivos en la dieta. No se observaron diferencias significativas ($p>0,05$) en el porcentaje de grasa y en el rendimiento de los muslos por efecto de los aditivos en la dieta.

Cuadro 13. Rendimientos en canal obtenidos según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta.

Rendimientos	Inclusión de coctel					Valor p
	0%	25%	50%	75%	100%	
Rendimiento Canal (%)	69,82 ^b	71,32 ^a	71,17 ^a	70,57 ^{ab}	70,71 ^{ab}	0,0002
Rendimiento Grasa (%)	0,51	0,54	0,53	0,41	0,52	0,6100
Rendimiento Alas (%)	8,38 ^a	8,11 ^b	8,32 ^{ab}	8,22 ^{ab}	8,20 ^{ab}	0,0409
Rendimiento Muslos (%)	10,26	10,13	10,37	10,20	10,47	0,5764
Rendimiento Filet de pechuga (%)	19,92 ^b	21,21 ^a	20,82 ^{ab}	21,03 ^a	21,43 ^a	0,0004
Rendimiento Pechuga (%)	31,65 ^b	32,92 ^a	32,90 ^a	32,74 ^a	32,86 ^a	0,0026

a, b. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p<0,05$).

Se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre el 0% y todos los tratamientos 25, 50, 75 y 100% de inclusión del coctel, entre los diferentes niveles de inclusión no se presentaron diferencias significativas en el rendimiento de canal, en el rendimiento de alas, rendimiento de filet de pechuga y del rendimiento de pechuga. Se obtuvieron los mayores rendimientos de alas en las aves que consumieron la dieta control y por el contrario mayores rendimientos de canal, filet y pechuga en las aves que consumieron el 25% de inclusión del coctel.

Moeini et al. (2011) no encontraron efecto de la suplementación de cromo (800, 1200ppb) sobre el rendimiento en canal ni en el peso de la grasa abdominal. Alvarenga, Santana y Geraldo (2018) no encontraron efecto de la inclusión de 400 ppb de cromo y 0,50

ppm de selenio sobre los rendimientos en canal, rendimiento de pechuga y en el rendimiento de alas. Vaz et al. (2009) tampoco encontraron diferencias en el rendimiento de pechuga. Arif et al. (2019) y De Souza et al. (2010), no encontraron efecto con la inclusión de cromo de 150 a 1600 µg/kg en dieta de pollos de engorde sobre rendimiento de canal y rendimiento de pechuga. Esto difiere con lo encontrado en este estudio, ya que al utilizar dosis más altas que los rangos reportados por los autores citados, en este experimento con dosis de 0,110kg/ton en el alimento (inclusión de 25%) se observaron mejores rendimientos de canal, pechuga entera y filete de pechuga.

Similar a lo obtenido en este trabajo, Norain, Ismail, Abdoun y Al-Haidary (2013), Sahin et al. (2002) y Toghyani et al. (2006) obtuvieron rendimientos en canal superiores y menor porcentaje de grasa abdominal cuando se incrementó la inclusión de cromo (200 a 2000 ppb). El cromo participa en el metabolismo de las proteínas aumentando ganancia de músculo y regula el metabolismo de las grasas disminuyendo la ganancia de grasa y potenciando la acción de la insulina (Norain et al., 2013). Rajalekshmi, Sugumar, Chirakkal y Ramarao (2014) encontraron un aumento lineal en el rendimiento de la pechuga cuando aumentó la inclusión de cromo (100 a 3200 ppb) en la dieta de los pollos de engorde y reportan que la suplementación con cromo reduce los niveles de concentración de corticosterona, mejorando la calidad de la canal de animales que se encuentran bajo estrés calórico.

Lohakare et al. (2005) observaron mayor rendimiento en canal y menor porcentaje de pechuga en pollos que consumieron alimento con 50 ppm de inclusión de vitamina C con respecto, a inclusiones de 10 ppm. Por el contrario, Attia et al. (2017) y Zeferino et al. (2016) no encontraron ningún efecto de la inclusión (200 a 288 mg/kg) de vitamina C en el rendimiento en canal, rendimiento de alas y en el rendimiento de pechuga. Con una inclusión de 25 a 100% del coctel con un rango de 0,153-0,581 kg/ton de vitamina C en el alimento, en este experimento, se observaron los mejores rendimientos en canal, filete de pechuga y pechuga entera, por encima del rango reportado por Lohakare et al. (2005) y dentro del ámbito descrito por Attia et al. (2017) y Zeferino et al. (2016).

Chand et al. (2017) reportaron resultados similares a los obtenidos en este trabajo, observaron rendimientos en canal superiores en pollos que consumieron 2 g/kg de inclusión de betaína con respecto al tratamiento control, en aves sometidas a estrés calórico (25-35°C con 66-87%HR), debido a la retención de agua en los tejidos provocado por la betaína.

Honarbakhsh et al. (2007) y Sakomura et al. (2013) no encontraron efectos de la inclusión de 0,05 a 0,225% de betaína sobre el rendimiento de canal y el rendimiento de pechuga. En esta investigación el ámbito de betaína utilizado, que mostró mejores resultados fue de 0,260 kg/ton (25% de inclusión) a 1,010 kg/ton (100%), estas inclusiones se encontraron por debajo de lo reportado por Chand et al. (2017).

Ahmadi et al. (2018) y Selim et al. (2015) reportaron efecto positivo en el rendimiento en canal y en el rendimiento de pechuga, respectivamente por la inclusión de 0,1 a 0,5 mg/kg de selenio en la dieta de pollos de engorde. Contrario a los resultados de Downs et al. (2000), Hada et al. (2013), Ibrahim et al. (2011) y De Medeiros et al. (2012) quienes no encontraron efecto por la inclusión de selenio (0,125-0,6 mg/kg) sobre los rendimientos en canal, rendimientos de pechuga, porcentajes de filet de pechuga y rendimientos de alas. Las inclusiones de selenio utilizadas para este experimento de 0,023 a 0,060 kg/ton se encontraron por encima del rango utilizado por los autores citados con un efecto positivo sobre los rendimientos del pollo en planta de cosecha.

El rango de las dosis de carbonato de potasio utilizadas en este trabajo fue de 0,104 a 0,387 kg/ton en el alimento, el aditivo se añadió en las inclusiones de 25% a 100% del coctel respectivamente, mostrando resultados favorables en los rendimientos del pollo y contrario a lo reportado por Zarrin-Kavyani et al. (2020), quienes no encontraron efecto al utilizar inclusiones de 0,85 y 0,94% de carbonato de potasio en la dieta de los pollos de engorde en el rendimiento en canal y rendimiento de pechuga.

5.3 Efecto de los tratamientos en la calidad de la carne

A continuación, se muestran los resultados de calidad de la carne de los pollos de acuerdo con el nivel de inclusión del coctel de aditivos en la dieta y según la zona experimental. No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en textura de la carne, pH del exudado de las pechugas en las pruebas de laboratorio y pH de las pechugas en la planta de cosecha, por efecto de los aditivos en la dieta, la zona experimental y la interacción entre ellos. Se obtuvo una media de 2,24N para la prueba de textura, 5,67 para el pH del exudado de las pechugas en el laboratorio y 9,57 para el pH de las pechugas en el matadero.

Collin et al. (2007) y Debut et al. (2003) no detectaron ningún efecto del ambiente (exposición de 2-6h a 35°C pre-sacrificio) sobre la calidad de la carne de pechuga en su pH

(medido en diferentes momentos). De igual forma Attia et al. (2017) y Lu et al. (2007) no encontraron efecto del ambiente (34°C con 50%HR y 36°C con 75-85%HR, respectivamente) en el pH en diferentes instantes, ni en la fuerza de corte similar a lo reportado por Sandercock et al. (2001) y Zeferino et al. (2016). Ibrahim et al. (2011), De Medeiros et al. (2012) y Miezeliene, Alencikiene, Gruzauskas y Barstys (2011) no encontraron ningún efecto por la inclusión de selenio (0,125-0,6 ppm) sobre la fuerza de corte en pechugas. Por el contrario, Zhang et al. (2012) obtuvieron mayor fuerza de corte en las pechugas de los pollos que se encontraron bajo estrés calórico (34°C, 19,30N) comparado con los que se encontraron en zona fresca (23°C, 17,90N) a una edad de 42 días.

5.3.1 Efecto de la zona experimental sobre peso de pechuga y sobre el porcentaje de pérdida de líquido

No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los pesos de las pechugas por efecto de los aditivos en la dieta. En el Cuadro 14 se muestran los resultados de los pesos de las pechugas de los pollos según la zona experimental. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las dos zonas, con mayores pesos de pechuga en los pollos de la zona fresca y los resultados del porcentaje de pérdida de líquido por cocción de las pechugas de los pollos de acuerdo con la zona experimental. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las dos zonas, obteniendo mayor pérdida de líquido en las pechugas de los pollos de la zona caliente.

Cuadro 14. Peso de las pechugas y porcentaje de pérdida de líquido por cocción, obtenidos según la zona experimental.

Zona	Peso pechuga (g)	% pérdida de líquido por cocción
Caliente	427,93 ^b	29,63 ^a
Fresca	467,22 ^a	26,25 ^b
Valor p	0,0009	0,0001

a, b. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Oliveira Neto et al. (2000), Oliveira et al. (2006) y Zhang et al. (2012) obtuvieron menores pesos de pechuga de los animales expuestos a un estrés térmico (31,3-35°C) en comparación de las aves que se encontraron en un ambiente de comodidad térmica (21-23°C), al igual que los resultados obtenidos en este trabajo. Por otro lado, Sandercock et al.

(2001) no encontraron ningún efecto de temperatura (32°C) y humedad relativa (75%) 2h antes del sacrificio de los pollos sobre el peso de pechuga.

Los resultados de la variable pérdida de líquido por cocción obtenidos fueron similares a los que reportaron Sandercock et al. (2001), Lu et al. (2007), Zhang et al. (2012) y Zeferino et al. (2016), obteniendo una mayor pérdida de líquido por cocción de las pechugas de los animales que se encontraron en estrés calórico (32-34°C), que las pechugas de las aves que se encontraron en un ambiente confort (21-23°C).

De igual forma, Wang, Pan y Peng (2009) encontraron que entre más tiempo presacrificio se exponen los animales a altas temperaturas (1-5h, 41°C), mayor es la pérdida de líquido de las pechugas, comparado a los animales en temperaturas óptimas (24°C). Esto se puede explicar por la desnaturalización que sufren las proteínas a un pH bajo y por el aumento glicolítico (Sandercock et al., 2001). Estos resultados difieren con los encontrados por Attia et al. (2017), Collin et al. (2007), Debut et al. (2003) y Sakomura et al. (2013), quienes no detectaron ningún efecto ambiental (31-36°C) sobre la calidad de la carne de pechuga en la retención de líquido.

5.3.2 Efecto de la inclusión de aditivos en la dieta sobre el porcentaje de pérdida de líquido

En el Cuadro 15 se muestran los resultados del porcentaje de pérdida de líquido por cocción de las pechugas de los pollos de acuerdo con el nivel de inclusión del coctel de aditivos en la dieta. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la pérdida de líquido entre el 0% y el 75% de inclusión del coctel, se observó una mayor pérdida de líquido por cocción de las pechugas de los pollos que se alimentaron con la dieta control.

Cuadro 15. Porcentaje de la pérdida de líquido de las pechugas por cocción obtenido según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta.

Inclusión	% pérdida de líquido por cocción
0%	29,86 ^a
25%	29,59 ^a
50%	27,67 ^{ab}
75%	26,41 ^b
100%	26,17 ^b
Valor p	0,0001

a, b. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Attia et al. (2017) y Zeferino et al. (2016) no encontraron ningún efecto de la inclusión de vitamina C (200-288 mg/kg) en la pérdida de líquido por cocción ni en la fuerza de corte. Sakomura et al. (2013) tampoco encontraron efecto de la inclusión de betaína (0,05-0,100%) sobre la pérdida de líquido de pechuga contra el control.

Los resultados de Cai et al. (2012) son similares a los obtenidos en este experimento, ya que encontraron un efecto lineal de inclusión de selenio (0,3, 0,5, 1,0 y 2,0 mg/kg) sobre la pérdida de líquido, obteniendo menor pérdida con una mayor inclusión de selenio en la dieta. La función antioxidante del selenio, puede promover el mantenimiento de la integridad de la membrana celular, que puede resultar en una reducción de pérdida de líquido (Miezeliene et al., 2011). Por el contrario, Downs et al. (2000) y De Medeiros et al. (2012) no encontraron diferencias significativas en la pérdida de líquido por cocción de las pechugas de los animales que consumieron dietas con diferentes niveles de inclusión de selenio (0,03-0,05% y 0,2-0,6 mg/kg, respectivamente). Miezeliene et al. (2011) tampoco reportaron efecto de la inclusión de selenio (0,5 mg/kg) sobre la pérdida de líquido, pero reportaron que el aumento de la cantidad de selenio en las dietas tuvo efectos menores sobre la calidad de la carne de pollo.

Con una inclusión de 75% y 100% del coctel con dosis por encima de las reportadas por los autores citados, se observó la menor pérdida de líquido por cocción de las pechugas.

5.3.3 Efecto de la interacción del factor inclusión de aditivos en la dieta y el factor zona experimental sobre el porcentaje de pérdida de líquido.

En el Cuadro 16 se muestran los resultados de la pérdida de líquido por cocción de las pechugas de los pollos de acuerdo con la interacción del factor zona experimental y el factor inclusión del coctel de aditivos en la dieta.

Cuadro 16. Porcentajes de pérdida de líquido por cocción de pechugas según la inclusión de aditivos en la dieta y la zona experimental.

Tratamientos	% pérdida de líquido por cocción
T1	30,07 ^{ab}
T2	30,17 ^{ab}
T3	27,76 ^b
T4	22,66 ^c
T5	20,59 ^c
T6	29,66 ^{ab}
T7	29,01 ^{ab}
T8	27,58 ^b
T9	30,16 ^{ab}
T10	31,75 ^a
Valor p	0,0001

a, b, c. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la pérdida de líquido entre la zona caliente con 100% de inclusión del coctel, la zona caliente con 50% de inclusión y la zona fresca con 75% de inclusión, con una mayor pérdida de líquido por cocción las pechugas de los pollos que estuvieron en la zona caliente y que consumieron un 100% de inclusión del coctel.

5.3.4 Efecto de la zona experimental sobre el pH de las pechugas

En el Cuadro 17 se muestran los resultados del pH de las pechugas en diferentes momentos (post cosecha, post refrigerado y antes de cocinarlas), según la zona experimental. No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el pH de las pechugas post refrigeradas por efecto de las zonas.

Cuadro 17. Valores de pH y temperatura de las pechugas según la zona experimental.

Zona	Post Cosecha		Post Refrigeración		Precocinado	
	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)
Caliente	5,64 ^a	16,3	5,59	11,7	5,65 ^a	17,4 ^a
Fresca	5,55 ^b	16,2	5,60	10,9	5,61 ^b	12,5 ^b
Valor p	0,0001	0,6537	0,3307	0,0506	0,0247	0,0001

a, b. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Se obtuvo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el pH de las pechugas de post cosecha y en el pH de las pechugas precocinadas entre las dos zonas, se obtuvieron pH mayores en las pechugas de los pollos de la zona caliente.

Zeferino et al. (2016) encontraron resultados similares en la temperatura y el pH postmortem de las pechugas, mostrando pH mayores en los animales que se encontraban en un estrés térmico (32°C), comparado a los que se encontraron en una zona con temperatura termoneutral (22,5°C). Resultados diferentes a los obtenidos encontraron Sandercock et al. (2001), quienes reportan menores pH postmortem en las pechugas de las aves que se encontraron en estrés calórico (32°C y 75%HR) 2 horas antes del sacrificio. Wang et al. (2009) reportaron que la exposición de los animales a temperaturas ambientales altas (41°C) mostró pH postmortem y postrefrigerado menores comparado a los animales criados en temperaturas óptimas (24°C).

Feng et al. (2008) e Imik, Atasever et al. (2012) encontraron que las altas temperaturas ambientales (28-34°C) incrementaron significativamente la producción de especies reactivas del oxígeno en las mitocondrias, que producen peroxidación lipídica, la cual inhibe la actividad de la bomba de calcio de la membrana plasmática (Ca²⁺-ATPasa) y aumentaron el contenido de lactato. Este aumento de los niveles de lactato podría explicar

los bajos niveles de pH que encontró en las pechugas, resultando en una disminución de la calidad de la carne. Zhang et al. (2012) reportaron una alta cantidad de lactato y un menor pH en las pechugas de los animales que se encontraron bajo estrés calórico (34°C) comparado a los que se encontraron en zona fresca (23°C) en las aves de 42 días de edad.

5.3.5 Efecto de la inclusión de aditivos en la dieta sobre el pH de las pechugas

En el Cuadro 18 se presentan los resultados de pH de las pechugas de pollo en diferentes momentos (post cosecha, post refrigeración y precocinado) de acuerdo con el nivel de inclusión del coctel de aditivos en la dieta. No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el pH de las pechugas post cosecha y post refrigeración por efecto de los aditivos.

Cuadro 18. Valores de pH y temperatura de las pechugas de acuerdo al porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta.

Inclusión	Post Cosecha		Post Refrigeración		Precocinado	
	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)
0%	5,60	15,4 ^b	5,57	11,5 ^b	5,58 ^b	18,5 ^a
25%	5,62	16,3 ^a	5,57	13,4 ^a	5,63 ^{ab}	15,7 ^{ab}
50%	5,60	16,8 ^a	5,63	11,2 ^b	5,67 ^a	13,1 ^b
75%	5,59	16,4 ^a	5,59	11,0 ^{bc}	5,63 ^{ab}	13,5 ^b
100%	5,57	16,4 ^a	5,62	9,5 ^c	5,64 ^{ab}	13,9 ^b
Valor p	0,3547	0,0001	0,0322	0,0001	0,0018	0,0001

a, b. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Se obtuvo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el pH de las pechugas precocinadas entre el 0% y el 50% de inclusión del coctel, las pechugas de los pollos que se alimentaron con el 50% de inclusión en el alimento mostraron un pH más alto.

Al igual que en los resultados obtenidos, Imik, Atasever et al. (2012) obtuvieron un mayor pH en las pechugas de los animales que se encontraron consumiendo en el alimento una inclusión de 250 mg de vitamina C/kg de alimento comparado con los pollos que consumieron una dieta control.

Attia et al. (2017) y Zeferino et al. (2016), por el contrario, no encontraron ningún efecto de la inclusión de vitamina C (200-288 mg/kg) en pH de la pechuga después de 24h. Perić et al. (2009) y De Medeiros et al. (2012) no encontraron diferencias significativas en el pH de pechuga en los animales que consumieron dietas con diferentes niveles de inclusión de selenio (0,1-0,6 ppm), o con diferentes fuentes de selenio (orgánico e inorgánico). De Souza et al. (2010) no encontró efecto de inclusión de cromo (150-600 µg/kg) en dieta de pollos de engorde sobre pH postrefrigerado de pechugas, obteniendo pH normales de 5,7-6,2.

5.3.6 Efecto de la interacción del factor inclusión de aditivos en la dieta y el factor zona experimental sobre el pH de las pechugas

En el Cuadro 19 se muestran los resultados de pH de las pechugas de los pollos en diferentes momentos (post cosecha, post refrigeración y precocinado) de acuerdo con la interacción del factor zona experimental y el factor inclusión del coctel de aditivos en la dieta. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el pH de las pechugas en el momento post mortem entre la zona fresca con 25% de inclusión del coctel y la zona caliente con 25% de inclusión, con un mayor pH en las pechugas de los pollos de la zona caliente y que consumían 25% de inclusión en la dieta. En el pH de las pechugas en el momento post refrigeración se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la zona fresca con 25% de inclusión y la zona fresca con 100% de inclusión, se observó mayor pH en las pechugas de los pollos en zona fresca que consumían el 100% de inclusión del coctel. El pH de las pechugas en el momento previo a cocinarse mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la zona caliente con 25% de inclusión del coctel y los tratamientos controles en ambas zonas, con un mayor pH las pechugas de las aves que se alimentaron con 25% de inclusión en la zona caliente.

Cuadro 19. Valores de pH y temperatura de las pechugas según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta y la zona experimental.

Tratamiento	Post Cosecha		Post Refrigeración		Precocinado	
	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)
T1	5,56 ^{bc}	15,2 ^d	5,58 ^{abc}	12,4 ^{bc}	5,58 ^b	15,9 ^{bc}
T2	5,53 ^c	15,7 ^{cd}	5,51 ^c	16,2 ^a	5,57 ^b	16,4 ^{abc}
T3	5,59 ^{bc}	16,3 ^{bc}	5,65 ^{ab}	9,2 ^d	5,65 ^{ab}	13,3 ^{cd}
T4	5,55 ^{bc}	17,2 ^a	5,60 ^{abc}	8,5 ^d	5,63 ^{ab}	9,8 ^{de}
T5	5,53 ^{bc}	16,8 ^{ab}	5,67 ^a	8,4 ^d	5,64 ^{ab}	7,1 ^e
T6	5,63 ^{ab}	15,7 ^{cd}	5,56 ^{bc}	10,5 ^{cd}	5,57 ^b	21,1 ^a
T7	5,71 ^a	16,8 ^{ab}	5,64 ^{ab}	10,5 ^{cd}	5,69 ^a	15,1 ^c
T8	5,61 ^{abc}	17,3 ^a	5,61 ^{abc}	13,3 ^b	5,70 ^a	12,8 ^{cd}
T9	5,62 ^{abc}	15,6 ^{cd}	5,57 ^{abc}	13,4 ^b	5,62 ^{ab}	17,1 ^{abc}
T10	5,61 ^{abc}	16,0 ^{bcd}	5,57 ^{bc}	10,5 ^{cd}	5,64 ^{ab}	20,6 ^{ab}
Valor p	0,0111	0,0001	0,0001	0,0001	0,0252	0,0001

a, b, c, d, e. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

5.4 Indicadores de bienestar animal

5.4.1 Corticosterona en sangre

5.4.1.1 Efecto de la interacción del factor inclusión de aditivos en la dieta y el factor zona experimental sobre la concentración de corticosterona

La zona experimental, la inclusión del coctel a la dieta y su interacción no tuvieron efecto sobre la concentración de corticosterona en sangre ($p > 0,05$) (Cuadro 20), se obtuvieron concentraciones promedio de 889,84 pg/mL durante la segunda semana de edad y 595,46 pg/mL en la quinta semana, mostrando una disminución de la concentración de la corticosterona en la sangre de los animales al finalizar el período experimental.

Cuadro 20. Concentración de corticosterona según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta y la zona experimental.

Tratamiento	Semana 2	Semana 5
	Concentración pg/ml	Concentración pg/ml
Zona Caliente + 0% Inclusión	678,91	606,80
Zona Caliente + 100% Inclusión	968,55	555,49
Zona Fresca + 0% Inclusión	1111,91	510,90
Zona Fresca + 100% Inclusión	799,96	708,64
Valor p	0,2607	0,0469

a, b, c, d, e. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Estos resultados obtenidos difieren de lo observado por Garriga et al. (2006), Quinteiro-Filho et al. (2012) y Quinteiro-Filho et al. (2010), quienes reportan un aumento en las concentraciones de corticosterona en sangre de 2,37 a 4,49 ng/ml, 31,1 a 98,0 ng/ml y 46,09 a 92,69 y a 109,60 ng/ml en los animales que se encuentran bajo estrés calórico (30-36°C) comparado a los que se encuentran en su zona termoneutral (20-21°C). Etches, John y Verrinder (2008) mencionan que las concentraciones de corticosterona en plasma aumentan en respuesta del estrés de calor y pueden mantenerse por periodos cortos de tiempo para hacerle frente a la exposición aguda de las altas temperaturas. Cuando las aves son expuestas de forma crónica al estrés por calor, las concentraciones de corticosterona en plasma disminuyen después del aumento inicial y el cuerpo puede implementar otras respuestas fisiológicas o conductuales para disipar el calor. Sin embargo; López et al. (2014) encontraron mayor concentración de corticosterona (17,15 ng/ml) en sangre en animales expuestos a estrés calórico crónico (30°C con 77%HR) que la concentración de corticosterona (6,99 ng/ml) de los pollos expuestos a un estrés calórico agudo (16-38°C con 85%HR).

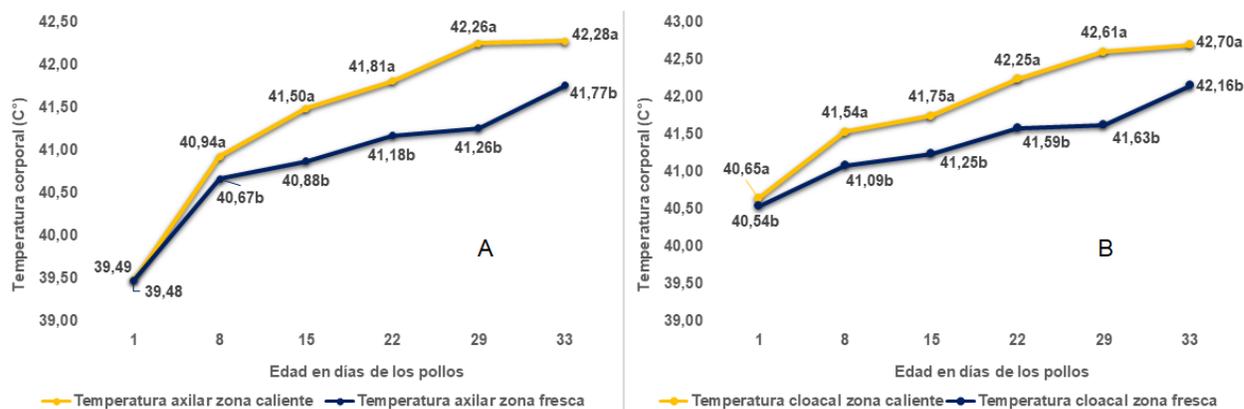
Ghazi et al. (2012), en su estudio de diferentes niveles de cromo en alimento (600 y 1200 µg/kg), observaron que el cromo incrementa la respuesta inmune, por lo tanto, aumenta el nivel de anticuerpos y con esto alivia el estrés de calor en el ave. Sahin et al. (2002), encontraron que a mayor inclusión de cromo (1200 µg/kg) en la dieta, se observó menor concentración de corticosterona en sangre (1,84 a 1,40 mol/l), debido a que el cromo logra aumentar la concentración de insulina (31,46 a 35,96 U/l), la cual tiene efecto opuesto sobre la corticosterona haciendo que la concentración de corticosterona disminuya. Mahmoud et al.

(2014) reportaron una disminución de corticosterona de 49,1 a 31,3 ng/ml al utilizar vitamina C (250 mg/kg) como aditivo comparado con el tratamiento control, ambos en estrés calórico (38°C con 49%HR), ya que, disminuye el estrés inducido por el daño oxidativo.

5.4.2 Temperatura corporal

5.4.2.1 Efecto de la zona experimental sobre la temperatura corporal

La temperatura corporal no se vio afectada por la interacción de las zonas experimentales con la inclusión de los aditivos en la dieta. Como se aprecia en la Figura 10, la temperatura corporal cloacal y axilar aumentaron con la edad de los pollos, llegando a 42°C en la última semana, por efecto de la temperatura ambiental. La diferencia entre la temperatura interna y la temperatura periférica fue de aproximadamente 0,5°C, en la temperatura cloacal se observaron valores más altos a lo largo del experimento contrario a los resultados obtenidos por Estrada et al. (2007), quienes observaron temperaturas axilares superiores (40,68, 40,52 y 40,60°C) a las temperaturas internas (40,18, 40,24 y 40,37°C) del ave durante sus tres primeras semanas de edad, debido a la disipación de calor interno hacia la periferia.



a, b. Letras diferentes entre la misma semana indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figura 10. Promedio de las temperaturas corporales, (A) Temperatura Axilar y (B) Temperatura Cloacal en las dos zonas experimentales (fresca y caliente) obtenidas durante las 5 semanas.

En la Figura 10 se muestran los resultados de las temperaturas corporales de los pollos de acuerdo con la zona experimental. En la temperatura axilar se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ambas zonas en los días 8, 15, 22, 29 y 33 de edad de los pollos, con mayores temperaturas axilares en los pollos de la zona caliente. La

temperatura cloacal mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas en los días 1, 8, 15, 22, 29 y 33 se obtuvo temperaturas cloacales más altas los pollos de la zona caliente.

Sandercock et al. (2001) y Estrada et al. (2007) sugieren que el aumento de la temperatura corporal a través de las semanas se debe al aumento de edad del animal, la cual genera un incremento en la producción de calor latente. Garriga et al. (2006) y Cucă y Dinu (2017) reportan que los animales expuestos a elevadas temperaturas ambientales generan un aumento en la temperatura cloacal, la cual depende también de la duración y la frecuencia de la exposición.

La temperatura ambiente afecta el proceso de disipación del animal, Barragan (2004), Martín et al. (2017) y Yahav et al. (2004), mencionan que cuando aumenta la temperatura ambiental, la temperatura periférica no aumenta mucho en comparación de la interna porque no es tan efectiva para la disipación de calor. Estrada et al. (2007) encontraron temperaturas superficiales superiores a 42°C similares a las observadas en este experimento a partir del día 29.

5.4.3 Comportamiento

5.4.3.1 Efecto de la zona experimental sobre el comportamiento

En el Cuadro 21 se muestran los resultados de los etogramas realizados a los pollos a lo largo del experimento, de acuerdo con la zona experimental. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el porcentaje de pollos acicalados entre las zonas, en la semana 3 de edad, se observó mayor porcentaje de aves acicalándose en la zona caliente. El porcentaje de pollos echados mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las dos zonas en la semana 2, con un mayor porcentaje de pollos echados en la zona fresca. En el porcentaje de aves estiradas se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en la semana 3, se obtuvo un mayor porcentaje de estiramientos en los pollos de la zona fresca.

Cuadro 21. Etogramas obtenidos según la zona experimental.

Semana	Zona	% Acicalados	% Echados	% Estirados	% Jadeando	% Comiendo	% Bebiendo
1	Caliente	2,97	67,32	2,85	13,52	7,10	6,00
	Fresca	3,72	69,34	1,96	8,66	10,36	5,96
	Valor p	0,4759	0,5182	0,2958	0,3498	0,3426	0,9764
2	Caliente	3,54	64,38 ^b	4,76	13,81 ^a	8,87	4,64
	Fresca	4,12	71,48 ^a	4,18	5,73 ^b	9,32	5,17
	Valor p	0,3276	0,0025	0,4486	0,0008	0,7541	0,5363
3	Caliente	2,84 ^a	53,89	2,43 ^b	28,18	7,16 ^a	5,69 ^a
	Fresca	2,14 ^b	56,24	4,85 ^a	28,22	4,75 ^b	3,80 ^b
	Valor p	0,0577	0,1670	0,0001	0,9859	0,0329	0,0091
4	Caliente	2,28	53,41	3,23	33,28	3,97 ^a	3,83 ^a
	Fresca	1,88	58,14	4,08	30,20	2,86 ^b	2,84 ^b
	Valor p	0,2163	0,1185	0,1186	0,3060	0,1081	0,0726
5	Caliente	1,56	56,76	3,68	31,92	3,16	2,91 ^a
	Fresca	1,39	58,16	4,02	32,74	1,81	1,88 ^b
	Valor p	0,5063	0,4010	0,4726	0,6356	0,1260	0,0921

a, b. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,10$).

En el porcentaje de pollos jadeando se observó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las zonas solamente en la semana 2, observándose un mayor porcentaje de pollos jadeando en la zona caliente. En cuanto al porcentaje de aves que se encontraban comiendo, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en las semanas 3 y 4, se obtuvieron mayores porcentajes de animales comiendo en la zona caliente. Por último, el porcentaje de pollos que se encontraban bebiendo mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las dos zonas en la semana 3, 4 y 5, con mayores porcentajes de pollos bebiendo en la zona caliente.

Como lo reportan Barragán (2004), Carvalho et al. (2013) y Etches et al. (2008), al aumentar la temperatura ambiental (24-35°C), las aves pasan menos tiempo caminando y de pie, consumen menos alimento y más agua, para compensar su pérdida por jadeo. Tienden

a distanciarse una de otras, aumentan el jadeo (Soria, 2002), suelen pararse con las alas ligeramente levantadas, se les esponjan las plumas, y separan sus alas para perder calor sensible. Carvalho et al. (2013) y Estrada et al. (2007) encontraron un incremento en el jadeo y en posiciones para disipar calor por conducción y convección (echados, estirados, escarbando y buscando las zonas más húmedas para perder calor debajo de los bebederos).

María, Escós y Alados (2004) encontraron que durante situaciones de estrés las aves no tienen suficiente energía disponible, por lo tanto, se reduce la complejidad de los comportamientos como una medida de adaptabilidad. Barbosa Filho, Silva, Silva y Silva (2007), reportaron que en condiciones de comodidad térmica (26°C y 60%HR) las gallinas pasan la mayoría del tiempo comiendo, acicalándose, y bebiendo, en condiciones de estrés calórico (35°C y 70%HR) la mayoría de las aves pasaron echándose, estando de pie, bebiendo agua y se redujo el comportamiento de comer hasta en un 50%.

5.4.3.2 Efecto de la inclusión de aditivos en la dieta sobre el comportamiento

En el Cuadro 22 se muestran los resultados de los etogramas realizados a lo largo del experimento, de acuerdo con el nivel de inclusión del coctel de aditivos en la dieta. Se obtuvo diferencias significativas ($p < 0,05$) en el porcentaje de animales echados entre las dos inclusiones de coctel (0% y 100%) en la semana 2 de edad, los pollos que permanecieron más echados correspondieron al tratamiento con el alimento con 100% de inclusión del coctel. En el porcentaje de pollos comiendo, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) solamente en la semana 2 entre ambas inclusiones de coctel, se obtuvieron mayores porcentajes de animales comiendo en aquellos que consumieron el alimento con 0% de inclusión. El porcentaje de pollos que se encontraba bebiendo mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los porcentajes de inclusión en la semana 5, con mayores porcentajes de pollos bebiendo en el tratamiento con la dieta con 0% de inclusión del coctel. No se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el porcentaje de pollos acicalándose, estirados y jadeando por efecto de los aditivos en la dieta durante el periodo experimental.

Cuadro 22. Etogramas por edad según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta.

Semana	Inclusión	% Acicalados	% Echados	% Estirados	% Jadeando	% Comiendo	% Bebiendo
1	0%	3,42	70,72	2,10	7,22	9,50	6,80
	100%	3,28	65,94	2,71	14,96	7,95	5,17
	Valor p	0,8930	0,1394	0,4711	0,1469	0,6469	0,2596
2	0%	4,10	64,93 ^b	5,03	9,30	11,25 ^a	5,40
	100%	3,57	70,92 ^a	3,92	10,24	6,94 ^b	4,41
	Valor p	0,3673	0,0085	0,1579	0,6469	0,0060	0,2506
3	0%	2,40	55,98	3,83	26,70	6,61	4,68
	100%	2,58	54,15	3,45	29,70	5,31	4,81
	Valor p	0,6005	0,2774	0,3833	0,2460	0,2325	0,8421
4	0%	2,34	55,87	3,77	31,52	3,24	3,26
	100%	1,82	55,67	3,54	31,96	3,59	3,41
	Valor p	0,1119	0,9459	0,6560	0,8812	0,6054	0,7657
5	0%	1,39	56,50	3,70	32,77	2,69	2,95 ^a
	100%	1,56	58,42	4,00	31,90	2,28	1,85 ^b
	Valor p	0,5309	0,2529	0,5301	0,6166	0,6392	0,0730

a, b. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0,10$).

Carvalho et al. (2013) no encontraron efecto del selenio (0,50, 1,10, 1,70, 2,30, 2,90 y 3,50 mg/kg) sobre los comportamientos de acicalarse, cantidad de echados y frecuencia de pollos en bebederos. Pero si encontraron una disminución de animales jadeando, al aumentar los niveles de selenio en la dieta en ambiente de estrés térmico (24-35°C). Ávila et al. (2004, como se citó en Alvarenga et al., 2018) encontraron resultados similares a este experimento, ya que reportaron un efecto de diferentes inclusiones de selenio sobre el comportamiento de los pollos de engorde con estrés calórico, disminuyendo la visita de los pollos de engorde a los comederos en los tratamientos de 1,7 y 2,3 mg de Se/kg. Y no encontraron efecto de Se sobre el porcentaje de animales bebiendo, caminando, acicalándose y echados.

Campelo (2017) encontró efecto de la inclusión de carbonato de potasio (K_2CO_3), $NaHCO_3$ y NH_4Cl sobre el comportamiento de los animales entre los 15 y 19 días con estrés térmico ($27,37^\circ C$ con $40,23\%HR$), obtuvo mayor porcentaje de animales que se acercaron a comederos para alimentarse, cuando los animales consumían una inclusión de 175 mEq/Kg ; pero no encontró ningún efecto sobre el porcentaje de animales bebiendo o echados.

5.4.3.3 Efecto de la interacción del factor inclusión de aditivos en la dieta y el factor zona experimental sobre el comportamiento

En el Cuadro 23 se muestran los resultados de los comportamientos observados de los pollos de acuerdo con la interacción del factor zona experimental y el factor inclusión del coctel de aditivos en la dieta. Se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en el porcentaje de pollos acicalados entre el 0% de inclusión en zona fresca y el 0% de inclusión en zona caliente para la semana 2 de edad de los pollos, se observó un mayor porcentaje de pollos acicalándose en zona fresca.

Cuadro 23. Etogramas por edad según el porcentaje de inclusión de los aditivos en la dieta y la zona experimental.

Semana		Caliente		Fresca		Valor p
		0% Inclusión	100% Inclusión	0% Inclusión	100% Inclusión	
1	Acicalados	3,30	2,64	3,53	3,91	0,6189
	Echados	67,65	66,99	73,78	64,89	0,1986
	Estirados	3,28	2,42	0,93	3,00	0,0947
	Jadeando	11,32	15,72	3,13	14,19	0,5187
	Comiendo	7,61	6,59	11,40	9,32	0,8754
	Bebiendo	6,36	5,64	7,23	4,69	0,5236
2	Acicalados	3,11 ^b	3,98 ^{ab}	5,08 ^a	3,16 ^{ab}	0,0247
	Echados	61,96 ^b	66,79 ^b	67,90 ^b	75,05 ^a	0,5786
	Estirados	5,52	4,01	4,53	3,83	0,5981
	Jadeando	13,73 ^a	13,88 ^a	4,86 ^b	6,61 ^b	0,6990
	Comiendo	10,92 ^{ab}	6,82 ^b	11,57 ^a	7,07 ^{ab}	0,8882
	Bebiendo	4,75	4,53	6,05	4,29	0,3705
5	Acicalados	1,72	1,40	1,07	1,71	0,0728
	Echados	55,49	58,03	57,51	58,81	0,7063
	Estirados	3,80	3,56	3,60	4,44	0,2548
	Jadeando	31,62	32,23	33,92	31,57	0,3957
	Comiendo	3,46	2,87	1,91	1,70	0,8244
	Bebiendo	3,90 ^a	1,93 ^b	2,00 ^{ab}	1,77 ^b	0,1477

a, b. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,10$).

5.4.4 Termografía

5.4.4.1 Efecto de la zona experimental sobre la termografía

En la Figura 11 se puede observar imágenes obtenidas de la cámara termográfica y las diferentes temperaturas periféricas capturadas por la cámara, tomadas en diferentes puntos de las superficies: suelo, alimento, pollos, temperatura ambiental, equipos e instalaciones, para generar un aproximado de la temperatura que rodea a las aves y que las puede afectar directamente.

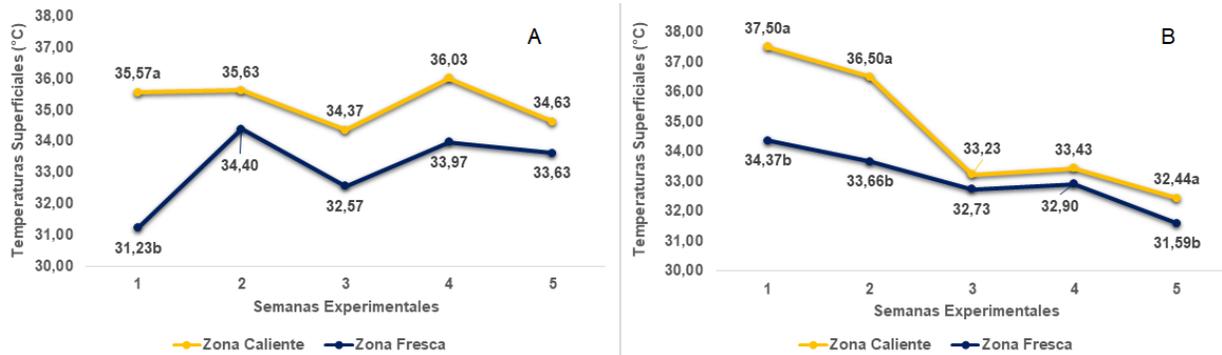


Figura 11. Fotografías termográficas tomadas durante todo el ciclo productivo a las instalaciones (A) Bloque de corrales y (B) Corral individual en las dos zonas experimentales (fresca y caliente).

Nascimento et al. (2011) reportaron que el análisis termográfico surge como una técnica de mapeo de temperaturas superficiales de las aves, principalmente por ser una forma de medición no invasiva, esto puede contribuir para evaluar si se encuentran en comodidad térmica y proporciona un estimado de las pérdidas de calor. Nääs et al. (2010) encontraron temperaturas de radiación en las aves que iban a ser capturadas, gracias a la información detallada por parte de la termografía, y comentan que estos resultados habrían sido difíciles de obtener con sensores sólidos.

En la Figura 12 se muestran los resultados de las temperaturas superficiales de los diferentes bloques (A) y corrales (B) por zonas térmicas durante las cinco semanas experimentales. Se obtuvo diferencias significativas ($p < 0,05$) en la temperatura superficial de los bloques entre ambas zonas solamente en la semana 1, se observó una temperatura ambiental mayor en la zona caliente. En la temperatura superficial de los corrales, se

observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en las semanas 1, 2 y 5 entre ambas zonas, se obtuvieron mayores temperaturas en la zona caliente.



a, b. Letras diferentes entre la misma semana indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Figura 12. Promedio de las temperaturas superficiales obtenidas por la cámara termográfica de los diferentes (A) bloques y (B) corrales en ambas zonas experimentales (fresca y caliente) durante todo el ciclo productivo.

Nascimento et al. (2014) observaron variabilidad de temperaturas ambientales y humedades relativas entre diferentes cuadrantes en las galeras experimentales, se forman microclimas dentro de las instalaciones y estos pueden generar condiciones térmicas inadecuadas para los pollos de engorde. Nääs et al. (2010), Nascimento et al. (2011), Baracho et al. (2011) y Nascimento et al. (2014) reportaron que una variación en el entorno de los pollos puede afectar en la temperatura de la superficie; también encontraron una variación en la disipación de calor en las diferentes semanas, siendo el jadeo la mejor forma y la más eficiente para perder calor, aunque cuando existe una humedad relativa mayor a 70% esta forma se vuelve ineficiente. Estos autores mencionan que la mejor forma de perder calor entre la convección y la radiación estimada por ave, es la convección y la pérdida de calor aumenta conforme aumenta la edad del ave. Nascimento et al. (2011) reportaron que la edad de las aves no influyó sobre la temperatura media de las superficies.

6. CONCLUSIONES

Al no haber interacción los efectos observados durante el proyecto fueron causados por los factores (zona experimental e inclusión de aditivos en la dieta) de una manera independiente.

Por lo tanto, la temperatura ambiental de la zona caliente causó estrés de calor en los pollos y afectó significativamente los rendimientos productivos; la ganancia de peso, conversión alimenticia y peso final ya que estos mostraron menores rendimientos. El uso de la premezcla de aditivos para el estrés calórico logró mejorar estos parámetros, los mejores resultados se observaron con la inclusión de 2,448 kg/ton (100%). La inclusión de la premezcla en la dieta también mostró un efecto positivo en el rendimiento en canal de los pollos, específicamente en el rendimiento de pechuga, con un efecto no lineal.

La premezcla de aditivos tuvo efecto positivo sobre parámetros de calidad de carne, como la pérdida de líquido por cocción, la cual se incrementa en condiciones de estrés calórico. El pH de la carne mostró una disminución lineal numérica por lo que se recomienda continuar estudiando el efecto del uso de aditivos para el estrés de calor en la calidad de la carne de pollo.

La inclusión de la premezcla mostró efectos significativos en algunas características de comportamiento de los pollos, como en el comportamiento de beber agua, el cual disminuyó con la inclusión del 100% del coctel tanto en la zona caliente como en la zona fresca.

Indicadores como el rendimiento de canal, temperatura corporal y comportamiento de jadeo, no se vieron afectados por zona o por niveles de inclusión del coctel, sin embargo se debe tomar en cuenta que las diferencias de temperatura ambiental entre zonas solo alcanzaron 1 grado centígrado. Cambios en estos y otros los parámetros podrían ser observados si se logran mayores diferencias en las condiciones ambientales de ambas zonas experimentales.

Las temperaturas y humedades relativas ambientales observadas en la zona fresca y en la zona caliente son frecuentemente reportadas en granjas comerciales y se encuentran por encima de la zona de comodidad de los animales. La premezcla evaluada podría resultar

de utilidad en el manejo del estrés de calor en granjas comerciales en condiciones ambientales no controladas en Costa Rica.

El uso de indicadores de bienestar animal y de otras herramientas de evaluación como la calidad de la carne, además de los rendimientos productivos, constituyen una opción adecuada que debe ser considerada para la evaluación del estrés de calor en pollos de engorde.

7. RECOMENDACIONES

El estrés de calor afecta los parámetros productivos, por lo tanto, se recomienda realizar más pruebas, donde exista una mayor diferencia de temperaturas entre las zonas experimentales para obtener una amplia diferencia entre los índices (ITHI y ITHVI) para que las diferencias en respuesta sean más evidentes.

Se recomienda utilizar los índices ITHI e ITHVI como indicadores ambientales en lugar de la temperatura ambiental y la humedad relativa ambiental en forma separada. Debido a que muestran de forma más aproximada la sensación térmica de los animales.

Realizar en próximos experimentos mediciones de consumo de agua, ya que es una variable importante que se ve afectada durante el estrés calórico, y que puede brindar información sustancial sobre como se encuentran los pollos durante todo el ciclo productivo.

Se recomienda evaluar los aditivos de forma individual y con diferentes combinaciones para observar si existen efectos sinérgicos entre ellos, bajo las mismas condiciones ambientales de estrés calórico y así detectar cuales son las mejores dosis y mezclas que funcionan para contrarrestar el efecto del estrés en los pollos de engorde.

Llevar a cabo necropsias de pollos por semana, para observar si existe un daño en el sistema digestivo de los animales que se exponen a las condiciones de estrés por calor y evaluar el posible efecto de los aditivos en la integridad intestinal.

Continuar realizando fotografías termográficas durante las pruebas de calor, en todas las semanas y a diferentes horas del día para verificar la correcta distribución de calor y la presencia de microclimas que puedan afectar los resultados de las pruebas, los rendimientos y el bienestar de los pollos.

8.LITERATURA CITADA

- Acebal, J., Deluchi, P., y Melo, J. (2018). Estrés térmico en aves: utilización de una combinación a base de extracto de alcachofa y betaína - Engormix (en línea). *Engormix*. Recuperado de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/estres-termico-aves-utilizacion-t41778.htm>.
- Adaszynska, M., y Szczerbinska, D. (2017). Use of essential oils in broiler chicken production. *Ann.Anim.Sczxi*, 17(2), 317-335. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/305817961_Use_of_essential_oils_in_broiler_chicken_production_-_A_review
- Ahmadi, M., Ahmadian, A., y Seidavi, AR. (2018). Effect of different levels of nano-selenium on performance, blood parameters, immunity and carcass characteristics of broiler chickens. *Poultry Science Journal*, 6(1), 99-108. DOI: <https://doi.org/10.22069/psj.2018.13815.1276>.
- Akhavan-Salamat, H., y Ghasemi, HA. (2016). Alleviation of chronic heat stress in broilers by dietary supplementation of betaine and turmeric rhizome powder: dynamics of performance, leukocyte profile, humoral immunity, and antioxidant status. *Tropical Animal Health and Production*, 48(1), 181-188. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0941-1>.
- Alvarenga, D., Santana, S., y Geraldo, A. (2018). Suplementação de minerais orgânicos (cromo e selênio) em dietas de frangos caipira. *Instituto Federal Minas Gerais*, 1-8. Recuperado de <https://www.ifmg.edu.br/sic/edicoes-anteriores/resumos-2018/suplementacao-de-minerais-organicos-cromo-e-selenio-em-dietas-de-frangos-caipira.pdf/view>
- Amerah, AM., y Ravindran, V. (2015). Effect of coccidia challenge and natural betaine supplementation on performance, nutrient utilization, and intestinal lesion scores of broiler chickens fed suboptimal level of dietary methionine. *Poultry Science*, 94, 673-680. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/272513909_Effect_of_coccidia_challenge_and_natural_betaine_supplementation_on_performance_nutrient_utilization_and_intestinal_lesion_scores_of_broiler_chickens_fed_suboptimal_level_of_dietary_methionine
- Ameri, SA., Samadi, F., Dastar, B., y Zarehdaran, S. (2016). Efficiency of Peppermint (*Mentha piperita*) Powder on Performance, Body Temperature and Carcass Characteristics of Broiler Chickens in Heat Stress Condition. *Applied Animal Science*, 6(4), 943-950. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/317748095_Efficiency_of_peppermint_Mentha_piperita

rita_powder_on_performance_body_temperature_and_carcass_characteristics_of_broiler_chickens_in_heat_stress_condition

- Ansari, I., Khalaji, S., y Hedayati, M. (2020). Potassium phosphate and potassium carbonate administration by feed or drinking water improved broiler performance, bone strength, digestive phosphatase activity and phosphorus digestibility under induced heat stress conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 52(2), 591-600. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02046-2>.
- Araújo, F., Garcia, R., Nääs, I., Lima, N., Silva, R., y Caldara, F. (2015). Broiler surface temperature and behavioral response under two different light sources. *Rev. Bras. Cienc. Avic*, 17(2). Recuperado de https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-635X2015000200219&script=sci_arttext&tlng=es
- Arif, M., Hussain, I., Mahmood, MA., Abd El-Hack, ME., Swelum, AA., Alagawany, M., Mahmoud, AH., Ebaid, H., y Komany, A. (2019). Effect of varying levels of chromium propionate on growth performance and blood biochemistry of broilers. *Animals*, 9(11), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9110935>.
- Attia, YA., Al-Harthi, MA., El-Shafey, AS., Rehab, YA., y Kim, WK. (2017). Enhancing tolerance of broiler chickens to heat stress by supplementation with Vitamin E, Vitamin C and/or probiotics. *Annals of Animal Science*, 17(4), 1155-1169. DOI: <https://doi.org/10.1515/aos-2017-0012>.
- Attia, YA., Hassan, RA., Tag El-Din, AE., y Abou-Shehema, BM. (2011). Effect of ascorbic acid or increasing metabolizable energy level with or without supplementation of some essential amino acids on productive and physiological traits of slow-growing chicks exposed to chronic heat stress. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 95(6), 744-755. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01104.x>.
- Ávalos, I., Herrera, J., y Morera, R. (2012). *Cuantificación y caracterización de lesiones en canales bovinas y su costo económico en la planta procesadora Coopemontecillos RL*. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 74pp. Recuperado de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/30209>

- Baracho, M., Nääs, I., Nascimento, G., Cassiano, J., y Oliveira, K. (2011). Surface Temperature Distribution in Broiler Houses. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 13(3), 177-182. Recuperado de <https://www.scielo.br/pdf/rbca/v13n3/03.pdf>
- Barbosa Filho, JAD., Silva, IJO., Silva, MAN., y Silva, CJM. (2007). Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando seqüência de imagens. *Engenharia Agrícola*, 27(1), 93-99. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-69162007000100002>.
- Barragan, J. (2004). Estrés térmico en aves. *Selecciones Avícolas*, 423-426. Recuperado de <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2004/7/1277-estres-termico-en-aves.pdf>
- Bellés, S. (2014). Control ambiental en situaciones de calor en naves de broilers. *aviNews*. Recuperado de <https://avicultura.info/control-ambiental-en-situaciones-de-calor-en-naves-de-broilers/>
- Belles, S. (2017). Reducir los efectos del estrés por calor. *aviNews*. Recuperado de <https://avicultura.info/reducir-estres-por-calor/>
- Borges, A., Fischer da Silva, A. Majorca, A., Hooge, D., y Cummings, K. (2004). Physiological responses of broiler chickens to heat stress and dietary electrolyte balance (sodium plus potassium minus chloride, milliequivalents per kilogram). *Poultry Science*, 83, 1551-1558. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119444416?via%3Dihub>
- Borges, S. A., Silva, A. V. F. D. A., Maiorka, A., Federal, U., y Brasil, C. P. R. (2007). Acid-base balance in broilers, 63(March), 73–81. <https://doi.org/10.1079/WPS2005128>
- Brian, D. (2018). *Evaluación del ambiente interno de una nave avícola para gallinas ponedoras comerciales*. Tesis Lic. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/8602>
- Briens, M., Mercier, Y., Rouffineau, F., Vacchina, V., y Geraert, PA. (2013). Comparative study of a new organic selenium source v. seleno-yeast and mineral selenium sources on muscle selenium enrichment and selenium digestibility in broiler chickens. *British Journal of Nutrition*, 110(4), 617-624. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007114512005545>.

- Brossi, C., Montes, N., Rios, J., Delgado, E., Menten, J., y Contreras, C. (2018). Acute heat stress detrimental effects transpose high mortality rate and affecting broiler breast meat quality. *Scientia Agropecuaria* 9(2), 305-311. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/328131902_Acute_heat_stress_detrimental_effects_transpose_high_mortality_rate_and_affecting_broiler_breast_meat_quality
- Cai, S.J., Wu, C.X., Gong, L.M., Song, T., Wu, H., y Zhang, L.Y. (2012). Effects of nano-selenium on performance, meat quality, immune function, oxidation resistance, and tissue selenium content in broilers. *Poultry Science*, 91(10), 2532-2539. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02160>.
- Campelo, A. (2017). Expressão gênica, desempenho, parâmetros fisiológicos e comportamentais em função do balanço de eletrólitos dietéticos em frangos de corte na fase de 1 a 21 dias. s.l., *Universidade Federal do Piauí*, 1-115 p. Recuperado de <https://pesquisa.bvsalud.org/bvs-vet/resource/pt/vtt-207303>
- Carvalho, GB de., Lopes, J.B., Santos, NP da S., Reis, NB do N., Carvalho, WF de., Silva, S.F., Carvalho, DA de., Silva, EM da., y Silva, SM da. (2013). Comportamento de frangos de corte criados em condições de estresse térmico alimentados com dietas contendo diferentes níveis de selênio. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 14(4), 785-797. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1519-99402013000400012>.
- Cedeño., AJR. (2011). Efecto Del Estres Calorico En El Bienestar Animal, Una Revision En Tiempo De Cambio Climatico. (en línea). *Espanciencia*, 2(82), 15-25. Recuperado de <http://espam.edu.ec/revista/2011/V2N1/8.pdf>.
- Chacón, A. (2000). *Estudio de la maduración, la inyección de cloruro de calcio, la cocción y el congelamiento como fundamentos de un proceso para el mejoramiento de la suavidad del solomo*. Tesis Lic. en Tecnología de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica. San José. Recuperado de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/76992>
- Chand, N., Naz, S., Maris, H., Khan, R.U., Khan, S., y Qureshi, M.S. (2017). Effect of betaine supplementation on plasma.pdf. *Pakistan Journal of Zoology*, 49(5), 1857-1862. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/319934766_Effect_of_Betaine_Supplementation_on_the_Performance_and_Immune_Response_of_Heat_Stressed_Broilers

Cobb-Vantress Inc. (2018). COBB Guia de Manejo de Pollo de Engorde.

Collin, A., Berri, C., Tesseraud, S., Requena Rodón, FE., Skiba-Cassy, S., Crochet, S., Duclos, MJ., Rideau, N., Tona, K., Buyse, J., Bruggeman, V., Decuypere, E., Picard, M., y Yahav, S. (2007). Effects of thermal manipulation during early and late embryogenesis on thermotolerance and breast muscle characteristics in broiler chickens. *Poultry Science*, 86(5), 795-800. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/86.5.795>.

Corona, J. (2012). Impacto del estrés calórico en la producción de pollos de engorde de Venezuela. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(6). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63624434014.pdf>

Corona, JL. (2013). Effect of heat stress on the physiology and egg quality in laying hens (en línea). *Revista electrónica de veterinaria*, 14(7), 1-15. Recuperado de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet%5Cnhttp://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070713/071308.pdf>.

Crespo, R., y Hense, I. (2016). Efecto de la suplementación de betaína para la prevención del estrés por calor. *Subirats*. Recuperado de <http://subirats.info/betaina-para-la-prevencion-del-estres-por-calor/>.

Cucă, D., y Dinu, C. (2017). Effects of Heat Stress on Some Physiological Indicators to the Broilers Cobb. *Animal Science and Biotechnologies*, 50(2), 60-63. Recuperado de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173369876>

Dai Prá, M., y Büttow, V. (2014). Estrés Calórico En La Producción De Pollos: 1 -Introducción (en línea). *El sitio Avícola*, 2-3. Recuperado de www.produccion-animal.com.ar.

Dalia, AM., Loh, TC., Sazili, AQ., Jahromi, MF., y Samsudin, AA. (2017). The effect of dietary bacterial organic selenium on growth performance, antioxidant capacity, and Selenoproteins gene expression in broiler chickens. *BMC Veterinary Research*, 13(1), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1159-4>.

- Dalólio, FS., Albino, LFT., Lima, HJD., da Silva, JN., y Moreira, J. (2015). Estresse térmico por calor e vitamina E em rações para frangos de corte como medida atenuante. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 37(4), 419-427. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v37i4.27456>.
- Dalólio, FS., Albino, LFT., Silva, JN., Campos, P., Lima, HJD., Moreira, J., y Ribeiro, V. (2018). Dietary chromium supplementation for heat-stressed broilers. *World's Poultry Science Journal* 74. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1017/S0043933917001064?journalCode=twps20>
- Debut, M., Berri, C., Baéza, E., Sellier, N., Arnould, C., Guémené, D., y Le Bihan-Duval, E. (2003). Variation of chicken technological meat quality in relation to genotype and preslaughter stress conditions. *Poultry Science*, 82(12), 1829–1838. <https://doi.org/10.1093/ps/82.12.1829>
- De Medeiros, LG., Oba, A., Shimokomaki, M., Pinheiro, JW., Da Silva, CA., Soares, AL., Pissinati, A., y De Almeida, M. (2012). Desempenho, características de carcaça e qualidade de carne de frangos de corte suplementados com selênio orgânico. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(2), 3361-3370. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl2p3361>.
- De Souza, LMG., Murakami, AE., Fernandes, JIM., De Holanda Guerra, RL., y Martins, EN. (2010). Influência do cromo no desempenho, na qualidade da carne e no teor de lipídeos no plasma sanguíneo de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(4), 808-814. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982010000400016>.
- Díaz, EA., Narváez-Solarte, W., y Giraldo, JA. (2016). Alteraciones Hematológicas y Zootécnicas del Pollo de Engorde bajo Estrés Calórico. *Informacion Tecnológica*, 27(3), 221-230. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300021>.
- Díaz, EA., Uribe, LF., y Narváez, W. 2014. Bioquímica sanguínea y concentración plasmática de corticosterona en pollo de engorde bajo estrés calórico (en línea). *Revista de Medicina Veterinaria*, 31-42. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-93542014000200004&lang=pt.
- Dieyeh. (2006). Effect of chronic heat stress and long-term feed restriction on broiler performance. *International Journal of Poultry Science*, 5 (2), 185-190. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/26557830_Effect_of_Chronic_Heat_Stress_and_Long-Term_Feed_Restriction_on_Broiler_Performance

- Donald, J. (2009). Manejo del Ambiente en el galpón del pollo de engorde. *Aviagen*. Recuperado de http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/smA-Acres-Guia-de-Manejo-del-Pollo-Engorde-2009.pdf
- Downs, KM., Hess, JB., y Bilgili, SF. (2000). Selenium Source Effect on Broiler Carcass Characteristics, Meat Quality and Drip Loss. *Journal of Applied Animal Research*, 18(1), 61-72. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2000.9706324>.
- Eklund, M., Bauer, E., Wamatu, J., y Mosenthin, R. (2005). Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock. *Nutrition Research Reviews*, 18(1), 31–48. <https://doi.org/10.1079/nrr200493>
- Estrada, M., Márquez, S., y Restrepo, L. (2007). Efecto de la temperatura y la humedad relativa en los parámetros productivos y la transferencia de calor en pollos de engorde. *Rev. Col. Cienc. Pec*, 20 (3), 288-303. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v20n3/v20n3a07.pdf>
- Etches, R., John, T., y Verrinder, A. (2008). Behavioural, Physiological, Neuroendocrine and Molecular Response to Heat Stress. *In Daghir*, 48-79. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/285883981_Behavioural_physiological_neuroendocrine_and_molecular_responses_to_heat_stress
- European Food Safety Authority, E. (2013). Scientific Opinion on the safety and efficacy of betaine anhydrous as a feed additive for all animal species based on a dossier submitted by Trouw Nutritional International B.V. (en línea). *EFSA Journal*, 11(5), 3211. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3211>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2001). Directrices para el manejo, transporte y sacrificio humanitario del ganado. *FAO*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/x6909S/x6909s00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). Animal Production and Health. *Agriculture and Consumer Protection Department*. *FAO*.
- Farfán, C., Rossini, M., y De Basilio, V. (2013). Efecto de la adición de electrolitos en agua y alimento sobre algunas variables productivas y sanguíneas en pollos de engorde bajo condiciones de estrés calórico. *Zootecnia Trop*, 31(3), 225-234. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/264606771_Efecto_de_la_adicion_de_electrolitos_

en_agua_y_alimento_sobre_algunas_variables_productivas_y_sanguineas_en_pollos_de_engorde_bajo_condiciones_de_estres_calorico

- Feng, J., Zhang, M., Zheng, S., Xie, P., y Ma, A. (2008). Effects of high temperature on multiple parameters of broilers in vitro and in vivo. *Poultry Science*, 87(10), 2133-2139. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00358>.
- Fernández, JI., y Pinaluba, A. (2014). Betaína, características y beneficios. *aviNews* :1-7. Recuperado de <https://avicultura.info/betaina-caracteristicas-y-beneficios/>
- Funari Junior, P., de Albuquerque, R., Alves, FR., Murarolli, VDA., da Trindade Neto, MA., y da Silva, EM. (2010). Diferentes fontes e níveis de selênio sobre o desempenho de frangos de corte. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 47(5), 380-384. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.1678-4456.bjvras.2010.26819>.
- Galván, SS., Rosales, SG., Alarcón-Rojo, AD., Angeles, L., Piña, E., Miyasaka, AS., y Izaguirre, OM. (2015). Effect of alpha-lipoic acid on productive parameters and carcass quality in broiler chickens | Efecto del ácido lipoico sobre parámetros productivos y calidad de la canal en el pollo de engorda. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 6(2), 207-220. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242015000200006
- García, L. (2014). Aplicaciones de la termografía en avicultura de carne. *aviNews*, :40-43. Recuperado de <https://avicultura.info/aplicaciones-de-la-termografia-en-avicultura-de-carne/>
- Garriga, C., Hunter, RR., Amat, C., Planas, JM., Mitchell, MA., y Moretó, M. (2006). Heat stress increases apical glucose transport in the chicken jejunum. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 290(1),195-201. DOI: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00393.2005>.
- Gavrau, A., y Starke, A. (2017). Betaine and crude protein interaction in broiler feed. *Poultry World*, 7, 53-55.
- Ghazi, S., Habibian, M., Moeini, M., y Abdolmohammadi, A. (2012). Effects of different levels of organic and inorganic chromium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Biol Trace Elem Res*, 146,309-317. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22127829/>

- González, R., Oyague, J., Totosaus, A., y Pérez, L. (2004). Efecto del masajeo o marinado con cloruro de calcio en la textura de carne de bovino. *Cienc. Tecnol. Aliment*, 4 (4), 274-277. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/11358120409487771>
- Goulart, T., Aparecida, M., Pretrolli, O., Moura, L., Tiecher, A., De Castro, F., Zotti, C., y Kolling, L. (2019). Eucalyptus oil to mitigate heat stress in broilers. *Rev.Bras.Zootec*, 48. Recuperado de <https://www.scielo.br/pdf/rbz/v48/1806-9290-rbz-48-e20160306.pdf>
- Habibian, M., Sadeghi, G., Ghazi, S., y Mehdi, M. (2015). Selenium as a feed supplement for heat stressed poultry: a Review. *Biol Trace Elem Res*, 165, 183-193. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/272825453_Selenium_as_a_Feed_Supplement_for_Heat-Stressed_Poultry_a_Review
- Hada, F., Malheiros, R., Silva, J., Marques, R., Gravena, R., Silva, V., y Moraes, V. (2013). Effect of Protein, Carbohydrate, Lipid, and Selenium Levels on the Performance, Carcass Yield, and Blood Changes in Broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 15(4), 385-394. Recuperado de https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-635X2013000400014&lng=en&tlng=en
- Hajjalizadeh, F., Ghahri, H., y Talebi, A. (2017). Effect of supplemental chromium picolinate and chromium nanoparticles on performance and antibody titer of infectious bronchitis and avian influenza of broiler chickens under heat stress condition. *Vet Res Forum*, 8(3), 259-264. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/320741395_Effects_of_supplemental_chromium_picolinate_and_chromium_nanoparticles_on_performance_and_antibody_titers_of_infectious_bronchitis_and_avian_influenza_of_broiler_chickens_under_heat_stress_condition
- Hamidi, H., Jahanian, R., y Pourreza, J. (2010). Effect of dietary betaine on performance, immunocompetence and gut contents osmolarity of broilers challenged with a mixed coccidial infection. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 5(3), 193-201. Recuperado de <https://scialert.net/abstract/?doi=ajava.2010.193.201>
- Herrera, J. (2015). *Análisis de la composición química y determinación de características de calidad (pH, CRA, color, textura) y microbiológicas (microorganismos psicrófilos anaerobios), así como del efecto del CaCl₂ sobre estas en carne de conejo (Oryctolagus cuniculus) madurada*. Tesis Lic. en Tecnología de Alimentos. Escuela de Tecnología de Alimentos,

Universidad de Costa Rica. San José. Recuperado de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/handle/123456789/3607>

Hernandez, RO., Tinôco, IFF., Osorio S, JA., Mendes, LB., Rocha, KSO., y Garcia, LMG. (2016). Thermal environment in two broiler barns during the first three weeks of age (en línea). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(3), 256-262. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p256-262>.

Honarbaksh, S., Zaghari, M., y Shivazad, M. (2007). Interactive effects of dietary betaine and saline water on carcass traits of broiler chicks. *Journal of Biological Sciences*, 7(7), 1208-1214. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/26561812_Interactive_Effects_of_Dietary_Betaine_and_Saline_Water_on_Carcass_Traits_of_Broiler_Chicks

Hu, X., y Guo, Y. (2008). Corticosterone Administration Alters Small Intestinal Morphology and Function of Broiler Chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21(12), 1773-1778. Recuperado de <https://www.ajas.info/journal/view.php?number=21983>

Ibrahim, MT., Eljack, BH., y Fadlalla, IMT. (2011). Selenium supplementation to broiler diets. *Animal Science Journal*, 2(1), 12-17. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/328730432_Selenium_supplementation_to_broiler_diets#:~:text=The%20study%20concluded%20that%20selenium,without%20increase%20of%20feeding%20cost.

Imik, H., Atasever, MA., Urcar, S., Ozlu, H., Gumus, R., y Atasever, M. (2012). Meat quality of heat stress exposed broilers and effect of protein and vitamin E. *British Poultry Science*, 53(5), 689-698. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071668.2012.736609>.

Imik, H., Ozlu, H., Gumus, R., Atasever, MA., Urcar, S., y Atasever, M. (2012). Effects of ascorbic acid and α -lipoic acid on performance and meat quality of broilers subjected to heat stress. *British Poultry Science*, 53(6), 800-808. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071668.2012.740615>.

Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN). (2017). El Clima y las Regiones Climáticas de Costa Rica (en línea). *Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica*. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/clima-regiones-climat.pdf/cb3b55c3-f358-495a-b66c-90e677e35f57>.

- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN). (2019). [Resumen Climático: Santa Clara ITCR, Aeropuerto Juan Santamaría, Estación Fabio Baudrit y La Garita]. Datos no publicados.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de Costa Rica (INEC). (2015). VI Censo Nacional Agropecuario: Actividades pecuarias, prácticas y servicios agropecuarios. (en línea). s.l., s.e., vol.1. 282 p. DOI: <https://doi.org/978-9930-525-01-2>.
- Ismail, T., Nassef, E., Hegazi, E., Bakr, A., Moustafa, E., Abdo, W., y Elbially, Z. (2019). THE MODULATORY EFFECT OF DIETARY BETAINES ON INTESTINAL ABSORPTIVE CAPACITY, LIPOGENESIS AND EXPRESSION OF LIPID METABOLISM- AND GROWTH-RELATED GENES IN NILE TILAPIA FED ON SOYBEAN MEAL-BASED DIET. *Slov Vet Res*, 56(22), 25-38. DOI: <https://doi.org/10.26873/SVR-741-2019>.
- Jahejo, A., Rajput, N., Rajput, N., Hussain, I., Raja, R., Ali, R., Kashif, M., y Zakria, M. (2016). Effects of heat stress on the performance of hubbard broiler chicken. *Cells, Animal and Therapeutics*, 2(1), 1-5. Recuperado de https://www.academia.edu/30939458/Effects_of_Heat_Stress_on_the_Performance_of_Hubbard_Broiler_Chicken
- Jang, I., Ko, Y., Kang, S., y Lee, C. (2006). Effect of a commercial essential oil on growth performance, digestive enzyme activity and intestinal microflora population in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 134, 304-315. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/248332468_Effect_of_a_commercial_essential_oil_on_growth_performance_digestive_enzyme_activity_and_intestinal_microflora_population_in_broiler_chickens
- Khan, R., Naz, S., Nikousefat, Z., Selvaggi, M., Laudadio, V., y Tufarelli, V. (2012). Effect of ascorbic acid in heat-stressed poultry. *World's Poultry Science Journal*, 68, 477-490. Recuperado de <https://www.cambridge.org/core/journals/world-s-poultry-science-journal/article/effect-of-ascorbic-acid-in-heatstressed-poultry/3137FF49FD882630E999296D19215B28>
- Khattak, FM., Acamovic, T., Sparks, N., Pasha, TN., Joiya, MH., Hayat, Z., y Ali, Z. (2012). Comparative efficacy of different supplements used to reduce heat stress in broilers. *Pakistan Journal of Zoology*, 44(1), 31-41. Recuperado de

https://www.researchgate.net/publication/267797967_Comparative_Efficacy_of_Different_Supplements_Used_to_Reduce_Heat_Stress_in_Broilers

Kirkpatrick, K., y Fleming, E. (2008). Calidad de agua. *Ross Tech*. Recuperado de http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/SPRossTechNoteWaterQuality.pdf

Klasing, KC., Adler, KL., Remus, JC., y Calvert, CC. (2001). Dietary Betaine Increases Intraepithelial Lymphocytes in the Duodenum of Coccidia-Infected Chicks and Increases Functional Properties of Phagocytes. *The Journal of Nutrition*, 132(8), 2274-2282. DOI: <https://doi.org/10.1093/jn/132.8.2274>.

Krishan, G., y Narang, A. (2014). Use of essential oils in poultry nutrition: A new approach. *J. Adv. Vet. Anim. Res.*, 1(4), 156-162. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/287518594_Use_of_essential_oils_in_poultry_nutrition_A_new_approach

Lara, L., y Rostagno, M. (2013). Impact of heat stress on poultry production. *Animals*, 3, 356-369. Recuperado de <https://www.mdpi.com/2076-2615/3/2/356>

Li, R., Zhou, Y., Li, Y., Guo, L., Zhang, Y., y Qi, Z. (2018). Effects of chromium picolinate supplementation on growth performance, small intestine morphology and antioxidant status in ducks under heat stress conditions. *Int. J. Morphol.*, 36(1), 226-234. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-95022018000100226&lng=en&nrm=iso

Lisboa, C., y Luis, J. (2012). Impacto del estrés calórico en la producción de pollos de engorde de Venezuela. *Revista Electronica de Veterinaria*, 13(6). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/636/63624434014.pdf>

Lohakare, JD., Ryu, MH., Hahn, T., Lee, JK., y Chae, BJ. (2005). Effects of Supplemental Ascorbic Acid on the Performance and Immunity of Commercial Broilers. (Vc). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228619411_Effects_of_Supplemental_Ascorbic_Acid_on_the_Performance_and_Immunity_of_Commercial_Broilers

López, EA., Velásquez, LF., y Solarte, W. (2014). Bioquímica sanguínea y concentración plasmática de corticosterona en pollo de engorde bajo estrés calórico (en línea). *Revista de Medicina*

Veterinaria, 28, 31-42. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-93542014000200004&lang=pt.

Lu, Q., Wen, J., y Zhang, H. (2007). Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. *Poultry science*, 86(6), 1059-1064. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/86.6.1059>.

Luthra, K. (2017). Evaluating thermal comfort of broiler chickens during transportation using heat index and simulated electronic chickens. Theses and Dissertations. *University of Arkansas*. Recuperado de <https://scholarworks.uark.edu/etd/2409/>

Mahmoud, KZ., Edens, FW., Eisen, EJ., y Havenstein, GB. (2004). Ascorbic acid decreases heat shock protein 70 and plasma corticosterone response in broilers (*Gallus gallus domesticus*) subjected to cyclic heat stress. *Comparative Biochemistry and Physiology - B Biochemistry and Molecular Biology*, 137(1), 35-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2003.09.013>.

Mahmoud, U., Abdel-Rahman, M., y Darwish, M. (2014). Effects of Propolis, Ascorbic Acid and Vitamin E on Thyroid and Corticosterone Hormones in Heat Stressed Broilers. *Advanced Veterinary Research*, 4(1), 18-27. Recuperado de <https://www.advetresearch.com/index.php/AVR/article/view/68>

Marchini, CFP., Silva, PL., Nascimento, MRBM., Beletti, ME., Guimarães, EC., y Soares, HL. (2009). Morfometria da mucosa duodenal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária y Zootecnia*, 61(2), 491-497. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000200029>.

María, GA., Escós, J., y Alados, CL. (2004). Complexity of behavioural sequences and their relation to stress conditions in chickens (*Gallus gallus domesticus*): A non-invasive technique to evaluate animal welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, 86(1-2), 93-104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2003.11.012>.

Martín, S., Almeida, P., y Léo, V. (2017). Estrés calórico en producción de pollos parrilleros. Tesina de la Orientación Producción Animal presentada como parte de los requisitos para optar al grado de Veterinario. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 1-33. Recuperado de <https://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/handle/123456789/1682>

- Martínez, A. (2008). Nutrición y calidad de la carne de los rumiantes. *REDVET*, 9(10), 1-21. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/26543282_Nutricion_y_calidad_de_la_carne_de_los_rumiantes
- Melero, M., López, I., y Sánchez, J. (2010). Aplicación de la termografía en el diagnóstico y valoración de la pododermatitis plantar en rapaces. *Complutense de Ciencias Veterinarias*, 4(2), 61-68. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/277878198_Aplicacion_de_la_termografia_en_el_diagnostico_y_valoracion_de_la_pododermatitis_plantar_en_rapaces
- Mello, JLM., Boiago, MM., Giampietro-Ganeco, A., Berton, MP., Vieira, LDC., Souza, RA., Ferrari, FB., y Borba, H. (2015). Periods of heat stress during the growing affects negatively the performance and carcass yield of broilers. *Archivos de Zootecnia*, 64(248), 339-345. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5916614>
- Messant, C., Moquet, P. (2018). Nutritional strategies to target heat stress. *All about feed*. Recuperado de <https://www.allaboutfeed.net/Feed-Additives/Articles/2018/5/Nutritional-strategies-to-target-heat-stress-279180E/>
- Miezeliene, A., Alencikiene, G., Gruzauskas, R., y Barstys, T. (2011). The effect of dietary selenium supplementation on meat quality of broiler chickens. *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment* 15(SPEC. ISSUE 1):61-69. REcuperado de https://www.researchgate.net/publication/50235204_The_effect_of_dietary_selenium_supplementation_on_meat_quality_of_broiler_chickens
- Moazeni, M., Modaresi, M., y Toghyani, M. (2016). The effects of vitamin A and zinc on thyroid hormones of broilers under heat stress. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(7), 553-556. Recuperado de <https://www.jocpr.com/articles/the-effects-of-vitamin-a-and-zinc-on-thyroid-hormones-of-broilers-under-heat-stress.pdf>
- Moeini, M. M., Bahrami, A., Ghazi, S., y Targhibi, M. R. (2011). The effect of different levels of organic and inorganic chromium supplementation on production performance, carcass traits and some blood parameters of broiler chicken under heat stress condition. *Biological Trace Element Research*, 144(1–3), 715–724. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9116-8>

- Morales, P. (2010). *Sustitución parcial de metionina por betaína en la nutrición de pollos de engorde*. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3010/>
- Mostashari-Mohases, M., Sadeghi, AA., Ahmadi, J., y Esmaeilkhanian, S. (2017). Effect of betaine supplementation on performance parameters, betaine-homocysteine s-methyltransferase gene expression in broiler chickens consume drinking water with different total dissolved solids. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 23(4), 563-569. DOI: <https://doi.org/10.9775/kvfd.2016.17289>.
- Nääs, I de A., Romanini, CEB., Neves, DP., do Nascimento, GR., y Vercellino, R do A. (2010). Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. *Scientia Agricola*, 67(5), 497-502. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-90162010000500001>.
- Nääs, I., Laganá, M., Mollo, M., Canuto, S., y Pereira, D. (2012). Image analysis for assessing broiler breeder behavior response to thermal environment. *Engenharia Agrícola*, 32(4). Recuperado de <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v32n4/01.pdf>
- Nascimento, GR do., Nääs, IA., Baracho, MS., Pereira, DF., y Neves, DP. (2014). Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(6), 658-663. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662014000600014>.
- Nascimento, GR., Nääs, IA., Pereira, DF., Baracho, MS., y Garcia, R. (2011). Assessment of broiler surface temperature variation when exposed to different air temperatures. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola*, 13(4), 259-263. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2011000400007>.
- Niu, Z, Liu, F., Yan, Q., y Li, L. (2009). Effects of different levels of selenium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Archives of Animal Nutrition*, 63(1), 56-65. DOI: <https://doi.org/10.1080/17450390802611610>.
- Niu, ZY., Wei, FX., Liu, FZ., Qin, XG., Min, YN., y Gao, YP. (2009). Dietary vitamin A can improve immune function in heat-stressed broilers. *Animal*, 3(10), 1442-1448. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731109990358>.

- Norain, TM., Ismail, IB., Abdoun, KA., y Al-Haidary, AA. (2013). Dietary inclusion of chromium to improve growth performance and immune-competence of broilers under heat stress. *Italian Journal of Animal Science*, 12(4), 562-566. DOI: <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e92>.
- Nuengjamnong, C., y Angkanaporn, K. (2015). Electrolyte and ascorbic acid supplementation for heat exposed broilers in Thailand. *Thai Journal of Veterinary Medicine*, 45(2), 239-245. Recuperado de <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/tjvm/article/view/35241>
- Oliveira Neto, A., Oliveira, R., Donzele, J., Ferreira, R., Maximiano, H., y Gasparino, E. (2000). Efeito da Temperatura Ambiente sobre o Desempenho e Características de Carcaça de Frangos de Corte Alimentados com Dieta Controlada e Dois Níveis de Energia Metabolizável. *Rev.bras,zootec*, 29(1), 183-190. Recuperado de https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-3598200000100025
- Oliveira, R., Donzele, J., Abreu, M., Ferreira, R., Vaz, R., y Cella, P. (2006). Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(3), 797-803. Recuperado de https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982006000300023&script=sci_arttext
- Oliveira, H., Rita De Alcântara Souza, D., y Nei Da Silva, M. (2014). Etograma do Carcará (*Caracara Plancus*, Miller, 1777) (Aves, Falconidae), em cativeiro. *Revista de Etologia*, 13(2), 1-9. Recuperado de http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-28052014000200003
- Park, B., y Park, S. (2017). Effects of feeding time with betaine diet on growth performance, blood markers, and short chain fatty acids in met ducks exposed to heat stress. *Livestock Science*, 199, 31-36. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/314270474_Effects_of_feeding_time_with_betaine_diet_on_growth_performance_blood_markers_and_short_chain_fatty_acids_in_meat_ducks_exposed_to_heat_stress
- Parvar, R., Khosravinia, H., y Azarfar, A. (2013). Effect of *Satureja khuzestanica* essential oils on postmortem pH and antioxidative potential of breast muscle from heat stressed broiler chicken. *Asian Journal of Poultry Science*, 7 (2), 83-89. Recuperado de <https://scialert.net/abstract/?doi=ajpsaj.2013.83.89>

- Pawar, S., Sajjanar, B., Lonkar, V., Nitin, K., Kadam, A., Nirmale, A., Brahmane, M., y Bal, S. (2016). Assessing and mitigating the impact of heat stress in poultry. *Adv. Anim. Vet. Sci*, 4(6), 332-341. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/304177380_Assessing_and_Mitigating_the_Impact_of_Heat_Stress_in_Poultry
- Pereira, PWZ., Menten, JFM., Racanicci, AMC., Traldi, AB., Silva, CS., y Rizzo, PV. (2010). Avaliação de complexo enzimático e betaína natural em rações para frangos de corte criados em aviário comercial. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(10), 2230-2236. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001000019>.
- Perić, L., Milošević, N., Žikić, D., Kanački, Z., Džinić, N., Nollet, L., y Spring, P. (2009). Effect of selenium sources on performance and meat characteristics of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(3), 403-409. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr.2008-00017>.
- Purswell, J., Dozier, W., Olanrewaju, H., Davis, J., Xin, H., y Gates, R. (2012). Effect of temperature-humidity index on live performance in broiler chickens grown from 49 to 63 days of age. *ASABE Conference Presentation*, Paper No.11. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/271428417_Effect_of_Temperature-Humidity_Index_on_Live_Performance_in_Broiler_Chickens_Grown_From_49_To_63_Days_of_Age
- Quinteiro-Filho, WM., Gomes, AVS., Pinheiro, ML., Ribeiro, A., Ferraz-de-Paula, V., Astolfi-Ferreira, CS., Ferreira, AJP., y Palermo-Neto, J. (2012). Heat stress impairs performance and induces intestinal inflammation in broiler chickens infected with *Salmonella Enteritidis*. *Avian Pathology*, 41(5), 421-427. DOI: <https://doi.org/10.1080/03079457.2012.709315>.
- Quinteiro-Filho, WM., Ribeiro, A., Ferraz-de-Paula, V., Pinheiro, ML., Sakai, M., Sá, LRM., Ferreira, AJP., y Palermo-Neto, J. (2010). Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. *Poultry Science*, 89(9), 1905-1914. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00812>.
- Rahman, A., y Dieyeh, A. (2007). Effect of chronic heat stress on broiler performance in Jordan. *International Journal of Poultry Science*, 6(1), 64-70. Recuperado de <https://scialert.net/abstract/?doi=ijps.2007.64.70>

- Rajalekshmi, M., Sugumar, C., Chirakkal, H., y Ramarao, S V. (2014). Influence of chromium propionate on the carcass characteristics and immune response of commercial broiler birds under normal rearing conditions. *Poultry Science*, 93(3), 574-580. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03373>.
- Rama Rao, SV., Prakash, B., Raju, MVLN., Panda, AK., Poonam, S., y Murthy, OK. (2013). Effect of supplementing organic selenium on performance, carcass traits, oxidative parameters and immune responses in commercial broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(2), 247-252. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12299>.
- Reece, WO., Sell, JL., Trampel, DW., y Christensen, WF. (2000). Effects of Dietary Potassium Supplementation for Growing Turkeys on Leg Weakness , Plasma Potassium Concentration , and Selected Blood Variables. *Poultry Science*, 79, 1120-1126. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119415976>
- Remus, J. (2002). Betaine may minimize effects of heat stress in broilers. *Feedstuffs*. Recuperado de http://animalnutrition.dupont.com/fileadmin/user_upload/live/animal_nutrition/documents/open/1737_heatstressfeed.pdf
- Rojas, J., Comerma, S., Chacón, T., Rossini, M., Zerpa, H., Farfán, C., y De Basilio, V. (2008). Effect of Mineral Addition in Water or Feed on Heart Rate in Broilers under Chronic and Acute Heat Stress. *Facultad de Ciencias Veterinarias*, 49(2), 99-111. Recuperado de https://www.academia.edu/12936949/Effect_of_Mineral_Addition_in_Water_or_Feed_on_Heart_Rate_in_Broilers_under_Chronic_and_Acute_Heat_Stress
- Sahin, N., Hayirli, A., Orhan, C., Tuzcu, M., akdemir, F., Komorowski, J., y Sahin, K. (2017). Effects of the supplemental chromium form on performance and oxidative stress in broilers exposed to heat stress. *Poultry Science*. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119312258?via%3Dihub>
- Sahin, K., Sahin, N., Onderci, M., Gursu, F., y Cikim, G. (2002). Optimal dietary concentration of chromium for alleviating the effect of heat stress on growth, carcass qualities, and some serum metabolites of broiler chickens. *Biological Trace Element Research*, 89. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/11052278_Optimal_Dietary_Concentration_of_Chro

mium_for_Alleviating_the_Effect_of_Heat_Stress_on_Growth_Carcass_Qualities_and_Some_Serum_Metabolites_of_Broiler_Chickens

- Sakomura, N., Barbosa, N., Longo, F., Silva, E da., Bonato, M., y Fernandes, J. (2013). Effect of dietary betaine supplementation on the performance, carcass yield, and intestinal morphometrics of broilers submitted to heat stress (en línea). *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 15(2), 105-112. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2013000200005>.
- Sandercock, DA., Hunter, RR., Nute, GR., Mitchell, MA., y Hocking, PM. (2001). Acute heat stress-induced alterations in blood acid-base status and skeletal muscle membrane integrity in broiler chickens at two ages: Implications for meat quality. *Poultry Science*, 80(4), 418-425. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/80.4.418>.
- Scanes, C. (2016). Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio. *Poultry Science*, 95(9), 2208-2215. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27252367/>
- Selim, NA., Radwan, NL., Youssef, SF., Salah Eldin, TA., y Abo Elwafa, S. (2015). Effect of inclusion inorganic, organic or Nano selenium forms in Broiler diets on: 1-Growth Performance, carcass and Meat Characteristics. *International Journal of Poultry Science*, 14(3), 135-143. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijps.2015.135.143>.
- Shaddel-tili, A., Ghasemi-sadabadi, M., y Pesta-bigelow, SS. (2016). The effects of thermal shock in the early rearing period on performance, carcass characteristics and some blood parameters in broiler chickens. *Research opinions in animal & veterinary sciences*, 6(3), 78-83. DOI: <https://doi.org/10.20490/ROAVS/16-013>.
- Shaojun, H., Shujing, Z., Sifa, D., Deyi, L., y Shehla Gul, B. (2015). Effects of dietary betaine on growth performance, fat deposition and serum lipids in broilers subjected to chronic heat stress. *Animal Science Journal*, 86(10), 897-903. DOI: <https://doi.org/10.1111/asj.12372>.
- Shields, S., Garner, J., y Mench, J. (2005). Effect of sand an wood-shavings bedding on the behavior of broiler chickens. *Poultry Science*, 84, 1816-1824. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/7296940_Effect_of_sand_and_wood-shavings_bedding_on_the_behavior_of_broiler_chickens

- Silva, J., Fuentes, M., Freitas, E., Espíndola, G., De Sousa, F., y Cruz, C. (2006). Níveis de sódio em rações de pintos de corte na fase inicial. *Revista Ciência Agronômica*, 37(1), 84-90. Recuperado de <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/227>
- Smith, MO., y Teeter, RG. (1987). Potassium balance of the 5 to 8-week-old broiler exposed to constant heat or cycling high temperature stress and the effects of supplemental potassium chloride on body weight gain and feed efficiency. *Poultry science*, 66(3), 487-492. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.0660487>.
- Soria, H. (2002). La disnea, recurso de las aves frente a la hipertermia, como signo para valorar los sistemas estivales de control ambiental (en línea). *Selecciones Avícolas*, 83-87. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3573721>.
- Suarez, B., y Van der Aa, A. (2013). Clorhidrato de betaína: un nutriente esencial en la nutrición avícola. *Engormix*. Recuperado de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/clorhidrato-betaína-nutriente-esencial-t30056.htm>
- Tao, X., y Xin, H. (2003). Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. *Transactions of the ASAE*, 46(2), 491-497. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/275572843_Acute_synergistic_effects_of_air_temperature_humidity_and_velocity_on_homeostasis_of_market-size_broilers
- Tekce, E., y Gül, M. (2017). Effect of *origanum syriacum* essential oil on blood parameters of broilers reared at high ambient heat. *Rev.Bras.Cienc.Avic*, 19(4). Recuperado de https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-635X2017000400655
- Toghyani, M., Shivazad, M., Gheisari, A., y Zarkesh, S. (2006). Performance, carcass traits and hematological parameters of heat-stressed broiler chicks in response to dietary levels of chromium picolinate. *International Journal of Poultry Science*, 5 (1), 65-69. Recuperado de <https://scialert.net/abstract/?doi=ijps.2006.65.69>
- Urso, U., Dahlke, F., Maiorka, A., Bueno, I., Schneider, A., Surek, D., y Rocha, C. (2015). Vitamin E and selenium in broiler breeder diets: effect on live performance, hatching process, and chick quality. *Poultry Science*, 94(5), 976-983. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/272840147_Vitamin_E_and_selenium_in_broiler_breeder_diets_Effect_on_live_performance_hatching_process_and_chick_quality

- Vale, M., Moura., Nääs, I., y Pereira, D. (2010). Characterization of heat waves affecting mortality rates of broilers between 29 days and market age (en línea). *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 12(4), 279-285. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2010000400010>.
- Vathana, S., Kang, K., Loan, P., Thinggaard, G., Kabasa, D., y Meulen, U. (2002). Effect of vitamin C supplementation on performance of broiler chickens in Cambodia. *Conference on International Agricultural Research for Development*. Recuperado de <https://www.tropentag.de/2002/abstracts/full/211.pdf>
- Vasco De Basilo. (2006). Estress Calórico en aves. Universidad Central de Venezuela. *CONFERENCIA*. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_aves/stres_calorico/60-stress-calorico.pdf
- Vaz, RGMV., Oliveira, RFM., Donzele, JL., Albino, LFT., Oliveira, WP., y Silva, BAN. (2009). Níveis de cromo orgânico em rações para frangos de corte mantidos sob estresse por calor no período de um a 42 dias de idade. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 61(2), 484-490. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352009000200028>.
- Vieites, F., Fraga, A., Souza, C., Araújo, G., Vargas, J., Nunes, R., y Correa, G. (2011). Desempenho de frangos de corte alimentados com altos valores de balanço eletrolítico em região de clima quente. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 63(2), 441-447. Recuperado de <https://www.scielo.br/pdf/abmvz/v63n2/23.pdf>
- Villa, A. (2009). La primera semana de vida del pollo. Jornadas Prof. de Avicultura. *Córdoba*. Recuperado de <https://seleccionesavicolas.com/pdf-files/2010/3/5186-la-primera-semana-de-vida-del-pollo.pdf>.
- Villagrà, A., Olivas, I., Althaus, L., Gomez, A., Lainez, M., y Torres, G. (2014). Behavior of broiler chickens in four different substrates: a choice test. *Rev. Brasileira de Ciencia Avícola*, 16(1), 67-76. Recuperado de <https://www.scielo.br/pdf/rbca/v16n1/v16n1a10.pdf>
- Virden, W., y Kidd, M. (2009). Physiological stress in broilers: Ramifications on nutrient digestibility and responses. *The journal of applied poultry research*, 18(2), 338-347. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1056617119305471>

- Wang, RR., Pan, XJ., y Peng, ZQ. (2009). Effects of heat exposure on muscle oxidation and protein functionalities of pectoralis majors in broilers. *Poultry Science*, 88(5), 1078-1084. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00094>.
- Yahav, S., Straschnow, A., Luger, D., Shinder, D., Tanny, J., y Cohen, S. (2004). Ventilation, sensible heat loss, broiler energy, and water balance under harsh environmental conditions. *Poultry Science*, 83(2), 253–258. <https://doi.org/10.1093/ps/83.2.253>
- Zamora, R. (2019). Comunicación personal. Escuela de Zootecnia. *Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica*.
- Zarrin-Kavyani, S., Khatibjoo, A., Fattahnia, F., y Taherpour, K. (2020). Effect of threonine and potassium carbonate on broiler chicken performance, immunity, carcass traits, and small intestine morphology. *Tropical Animal Health and Production*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02086-8>.
- Zarrin-Kavyani, SH., Khatibjoo, A., Fattahnia, F., y Taherpour, K. (2018). Effect of threonine and potassium carbonate supplementation on performance, immune response and bone parameters of broiler chickens. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 1329-1335. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1505619>.
- Zeferino, CP., Komiyama, CM., Pelícia, VC., Fascina, VB., Aoyagi, MM., Coutinho, LL., Sartori, JR., y Moura, ASAMT. (2016). Carcass and meat quality traits of chickens fed diets concurrently supplemented with vitamins C and E under constant heat stress. *Animal*, 10(1), 163-171. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731115001998>.
- Zhang, ZY., Jia, GQ., Zuo, JJ., Zhang, Y., Lei, J., Ren, L., y Feng, DY. (2012). PROCESSING, PRODUCTS, AND FOOD SAFETY Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat. *Poultry Science*, 91, 2931-2937. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119398104>
- Zulkifli, I., Mysahra, S a., y Jin, LZ. (2004). Dietary supplementation of betaine (Betafin (R)) and response to high temperature stress in male broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 17(1), 244-249. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/264145193_Dietary_Supplementation_of_Betaine_BetafinR_and_Response_to_High_Temperature_Stress_in_Male_Broiler_Chickens.