



CONTROL DEL ESTRÉS TÉRMICO AGUDO EN POLLOS DE ENGORDE LÍNEA ROSS 308 MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE BETAÍNA EN AGUA DE BEBIDA Y SU ANÁLISIS ECONÓMICO EN LA PARROQUIA EL QUINCHE, ECUADOR

CONTROL OF ACUTE THERMAL STRESS IN BROILERS ROSS 308 LINE BY INCLUSION OF BETAINE IN DRINKING WATER AND ITS ECONOMIC ANALYSIS IN EL QUINCHE PARISH, ECUADOR

Wladimir Moya*¹ y Jorge Barba²

¹Laboratorio de Ecología, Departamento de Ciencias Biológicas Biológicas y Biodiversidad, Universidad de Los Lagos, Campus Osorno, Casilla 933, Osorno, Chile.

²Departamento de Desarrollo e Innovación, Nindalgo S.A., Calle N74C y E4, 170307, Quito, Ecuador.

*Autor para correspondencia: wladimirmoyaf@gmail.com

Manuscrito recibido el 12 de agosto de 2020. Aceptado, tras revisión, el 17 de junio de 2021. Publicado el 1 de marzo de 2022.

Resumen

Este estudio evaluó diferentes concentraciones de inclusión de betaína suministrada en el agua de bebida para el control del estrés térmico agudo en pollos de engorde de la línea Ross 308 y su efecto sobre los parámetros productivos y el beneficio económico en dos ciclos de producción. El experimento se inició en dos galpones con 2672 y 2304 aves que fueron distribuidas en la tercera semana en 16 cuadrantes con cuatro pseudo-réplicas de 167 y 144 aves en cada cuadrante. Tres tratamientos de betaína (1,5; 2 y 2,5 g/l) y un tratamiento control (sin betaína) distribuidos al azar se suministraron en el agua de bebida durante la última semana de crianza (séptima semana). El suministro de 1,5 g/l (T2) de betaína mostró un mayor peso promedio ($2441 \pm 52,2$ g) y menor mortalidad (2,96%) durante el primer ciclo, mientras que el T4 (2,5g/l) mostró el mayor peso promedio ($2925 \pm 60,2$ g) y menor mortalidad (3,43%) durante el segundo ciclo. Todos los tratamientos revelaron un estrés térmico agudo sin diferencias significativas en la temperatura corporal. En el análisis económico, los T2 y T4 mostraron los ingresos netos más altos de alrededor del 60,44% y 67,36%, con una relación costo-beneficio de 1,42 y 1,93 durante el primer y segundo ciclo, respectivamente. Este estudio sugiere el suministro de betaína entre 1,5-2,5 g/l en el agua de bebida durante la última semana de crianza en zonas mediterráneas junto con buenas prácticas de manejo para mitigar el estrés térmico agudo en los pollos de engorde Línea Ross 308.

Palabras clave: Betaína, broiler, análisis económico, parámetros productivos, estrés térmico.

Abstract

This study evaluated different concentrations of inclusion of betaine supplied in the drinking water for the control of acute heat stress in broiler chickens Ross 308 Line and its effect on the productive parameters and economic benefit in two production cycles. In two poultry houses, the experiment began with 2672 and 2304 broiler chickens that were distributed in the third week in 16 quadrants with four pseudo-replicates of 167 and 144 chickens each quadrant. Three treatments of betaine (1.5, 2 and 2.5 g/l) and one control treatment (without betaine) distributed at random were supplied in the drinking water during the last week of breeding (seven week). The supply of 1.5 g/l (T2) of betaine level showed the highest average weight (2441 ± 52.2 g) and lowest mortality (2.96%) during the first cycle, whereas T4 exhibited highest average weight (2925 ± 60.2 g) and lowest mortality (3.43%) during the second cycle. All treatments revealed acute thermal stress with no significant differences in body temperature. In the economic analysis T2 and T4 showed the highest net income with about 60.44% and 67.36% with reasonable cost-benefit ratio (1.42 and 1.93) during first and second cycle, respectively. This study suggests the supply of betaine between 1.5-2.5 g/l in the water during the last week of rearing period in Mediterranean areas along with good management practice to mitigate the acute thermal stress in commercial chicken broilers Line Ross 308.

Keywords: Betaine, broiler, economic analyses, productive parameters, thermal stress.

Forma sugerida de citar: Moya, W. y Barba J. (2022). Control del Estrés Térmico Agudo en Pollos de Engorde Línea Ross 308 mediante la Inclusión de Betaína en Agua de Bebida y su Análisis Económico en la Parroquia El Quinche, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 35(1):72-84. <http://doi.org/10.17163/lgr.n35.2022.06>.

IDs Orcid:

Wladimir Moya: <http://orcid.org/0000-0002-5118-8985>

Jorge Barba: <http://orcid.org/0000-0001-8306-6600>

1 Introducción

Los pollos de engorde son animales homeotérmicos porque tienen la capacidad de regular y mantener su propia temperatura corporal interna (Araújo y col., 2015; Mascarenhas y col., 2020). Este mecanismo ocurre cuando su temperatura interna se encuentra dentro de la zona termoneutral (27,5-37,7 °C) (Ajakaiye, Pérez y Mollineda, 2011; Mutibvu, Chimonyo y Halimani, 2017; Saeed y col., 2019). Varios factores pueden influir en los pollos de engorde como el peso corporal, la cantidad de plumaje, aclimatación y estado de deshidratación (Pereira y Nääs, 2008; Araújo y col., 2015; Bhadauria y col., 2017).

El calor resultante es producto del metabolismo (glicolisis, ciclo de Krebs, vía de derivación de fosfato) y la actividad muscular producida dentro del cuerpo del animal. (Zahoor y col., 2016; Lu y col., 2017; Tickle, Hutchinson y Codd, 2018; Zaboli y col., 2019; Barzegar y col., 2020). Existen diferentes factores que pueden afectar la cantidad y la producción de calor, como la actividad física, la temperatura del ambiente, los ritmos circadianos, entre otros (Syafwan, Kwakkel y Versteegen, 2011; Lara y Rostagno, 2013; Fisinin y Kavtarashvili, 2015; Baracho y col., 2019). Por lo tanto, para mantener la temperatura corporal dentro de la zona termoneutral, los pollos disipan el exceso de calor al medio ambiente a través de la conducción celular y la convección vascular (Baracho y col., 2011; Da Silva, Pandorfi y Guiselini, 2015; Nilsson, Molokwu y Olsson, 2016; Nascimento y col., 2017).

La cría de aves de corral depende principalmente de condiciones climáticas como la temperatura y la humedad (Nawab y col., 2018). La temperatura interna del cuerpo de un pollo adulto varía alrededor de 40,5 °C. Esta temperatura aumenta a medida que la temperatura ambiental sube o baja por encima o por debajo de la zona termoneutral (Aengwanich, 2007; Nascimento y col., 2011). Cuando la temperatura corporal central alcanza su punto crítico (47 °C), llamado punto de temperatura letal superior, los pollos pueden morir por la postración térmica (Scanes, 2016). Cuando se altera el equilibrio entre la producción de calor y la pérdida de calor en el cuerpo del pollo, la pérdida de calor disminuye mientras la producción de calor aumenta, lo que provoca el inicio de estrés térmico (Dayya-

ni y Bakhtiari, 2013; Lara y Rostagno, 2013; Saeed y col., 2019).

El estrés puede definirse como una respuesta no específica del organismo del animal a condiciones ambientales adversas que producen ajustes fisiológicos y metabólicos para mantener la homeostasis, generar efectos sobre el sistema nervioso central, el sistema neuroendocrino y el sistema inmunológico (Lin y col., 2006; Martin y col., 2011). El estrés térmico afecta negativamente no sólo el rendimiento productivo y reproductivo, sino también la rentabilidad del avícola y el bienestar de los pollos (Pawar y col., 2016; Alagawany y col., 2017; Ranjan y col., 2019). El aumento en el costo de la energía provoca estrés térmico en las aves (Syafwan, Kwakkel y Versteegen, 2011; Rath y col., 2015; Shlomo, 2015; Zhang y col., 2016). A nivel bioquímico, un aumento de hasta 20 veces en la frecuencia respiratoria de los pollos puede causar una mayor pérdida de CO₂ a través de los pulmones (Knížatová y col., 2010; Nascimento y col., 2017), lo que resulta en un aumento en el pH sanguíneo, causando una aceleración del balance ácido-base (Olanrewaju y col., 2006; Borges, Da Silva y Maiorka, 2007) que termina afectando la salud, el bienestar y el rendimiento de los pollos.

El estrés térmico también causa peroxidación lipídica debido a la generación excesiva de especies reactivas de oxígeno (Akbarian y col., 2016). La suplementación antioxidante tiene la capacidad de reducir la inestabilidad oxidativa de proteínas y lípidos, lo que puede estar asociado con el aumento de la actividad de las enzimas antioxidantes celulares (Delles y col., 2014).

La betaína se puede encontrar en diferentes plantas y especies de animales como sustancia natural (Nudiens y col., 2001). La betaína actúa en el metabolismo de pollos como donante de grupos metílicos para la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos y colina (McDevitt, Mack y Wallis, 2000). Es un derivado metílico de la glicina y un metabolito de la degradación de la colina que actúa como osmolito, ayudando a mantener el agua celular, el equilibrio de iones, la conservación de la metionina y la distribución de grasas (Eklund y col., 2005; Ratriyanto y col., 2009; Ahmed, Ismail y Abdel, 2018; Shakeri y col., 2018). Entre los beneficios de la betaína está que puede mejorar la retención de agua debido

al efecto osmótico, aumentando el volumen celular y por lo tanto la actividad anabólica, la integridad de la membrana celular y el rendimiento general del pollo (Shakeri y col., 2018; Liu y col., 2019). La propiedad osmolítica de la betaína permite la adaptación celular a ambientes osmóticos adversos, en climas calientes y húmedos. Como donante del grupo metil, la betaína también puede reemplazar hasta el 20% de la metionina en la dieta y hasta el 100% de la colina en las dietas de pollos de engorde comerciales, ahorrando costos de alimentación (Sakomura y col., 2013).

El estrés térmico es un gran desafío para el bienestar de los pollos y la rentabilidad de la granja avícola. Por lo tanto, los productores deben estar conscientes y vigilantes en la gestión y mantenimiento de las temperaturas internas adecuadas en las últimas semanas de engorde especialmente en zonas con clima mediterráneo durante verano. Los eventos conductuales, así como los parámetros de producción, proporcionan información relevante sobre las respuestas de las aves a las condiciones de estrés térmico debido a la alta temperatura ambiental y a la alta humedad relativa (Lara y Rostagno, 2013; Nyoni, Grab y Archer, 2019).

En Ecuador hay escasos estudios científicos sobre la administración de betaína en el agua de bebida para hacer frente al estrés térmico agudo en el pollo, su efecto sobre los parámetros de producción y su beneficio económico durante las estaciones calurosas en climas mediterráneos. Este estudio asume que una mayor concentración de betaína en el agua de bebida produce una menor mortalidad y un menor peso promedio al final del período de engorde, debido a una mejor hidratación del animal y a un menor consumo de alimentos en las horas más calurosas.

Por lo tanto, este estudio evalúa diferentes concentraciones de inclusión de betaína suministrada en el agua potable para el control del estrés térmico agudo en pollos de la línea ROSS 308 a partir de los 38 días de edad y su efecto sobre los parámetros productivos, así como el beneficio económico del productor aplicado a una zona de clima mediterráneo de la Región Sierra del Ecuador.

2 Metodología

2.1 Área experimental y condiciones microclimáticas

La investigación se realizó en el municipio de La Victoria, perteneciente a la parroquia El Quinche, provincia de Pichincha, a 40 km al este de la ciudad de Quito. El área de estudio se encuentra a una altitud de 2619 msnm, con un clima mediterráneo, y temperaturas medias de 18 °C con variaciones de 0,6 °C durante todo el año. El mes más caluroso es septiembre, con temperaturas máximas de hasta 30 °C y una precipitación mensual de 53 mm. El mes más lluvioso se registra en abril con 126 mm de media mensual.

La investigación se llevó a cabo entre los meses de agosto-noviembre 2019, durante la temporada más calurosa del año. Se utilizaron dos galpones de 264 m², y cada uno albergó 2700 aves macho durante agosto a septiembre para el primer ciclo de producción (FPC), y 2330 aves masculinas durante octubre a noviembre para el segundo ciclo de producción (SPC). Sin embargo, el experimento se inició con 2672 y 2304 animales para el FPC y el SCP, respectivamente, debido a la mortalidad registrada en los primeros 21 días de engorde.

Las condiciones de temperatura interna de los galpones se verificaron antes de la recepción de los pollos, registrando una temperatura de 33 °C cada uno. Los animales fueron vacunados contra la enfermedad de Marek en la incubadora previo a su llegada a los galpones y se alimentaron con agua y alimentos frescos y limpios durante su toda su estancia en el galpón.

2.2 Manejo de aves de corral y suministro de betaína

Al final de la tercera semana de vida (21 días), los pollos se colocaron en 16 cuadrantes de 15 m² cada uno, y fueron distribuidos uniformemente dentro de cada galpón colocando 167 pollos por cuadrante durante el FPC y 144 pollos por cuadrante durante el SPC. Los animales fueron distribuidos en cuadrantes en esta semana ya que a esta edad los animales son capaces de autorregular su temperatura interna y no dependen del calor artificial externo (incubadoras), y también para facilitar el manejo de

los pollos durante el período experimental.

Dentro de cada corral se clasificaron los 16 cuadrantes en cuatro tratamientos distribuidos aleatoriamente con cuatro repeticiones de cada tratamiento. Cada experimento consistió en un tratamiento control (T1: Sin betaína) y tres tratamientos con diferentes concentraciones de betaína (T2: 1,5 g/l; T3: 2 g/l y T4: 2,5 g/l). La betaína fue suministrada en los bebederos desde el día 43 y 44 en adelante, en el primer y segundo corral, respectivamente, durante las horas más calurosas del día (12:00 am - 15:00 pm). La betaína fue suspendida antes del sacrificio, para evitar la existencia de residuos dentro del cuerpo del animal en el momento de la venta. Sólo se suministró agua limpia el último día del ciclo de producción. Los animales permanecieron en los corrales hasta los días 48 y 49 durante el FCP y el SCP, respectivamente.

En los pollos de engorde, los glucocorticoides se producen como corticosterona, y el 75% se excreta en la orina (Scanes, 2016). Por esta razón, se utilizó una técnica no invasiva para determinar los niveles de corticosterona, evitando generar estrés en los pollos por manipulación. Se recogieron muestras fecales (separación posterior de la porción líquida de las heces de aves de corral) durante el período experimental (días 43 a 46 [FCP]; días 44 a 47 [SCP]). Este procedimiento se realizó con precaución durante las primeras horas del día (7:00 am - 9:00 am) para evitar generar cualquier tipo de estrés (fisiológico o conductual) en los animales. Las muestras recogidas para cada tratamiento en ambos ciclos se enviaron al laboratorio para su posterior análisis.

La temperatura interna del cuerpo se registró en los días 43, 45 y 47 en ambos corrales en una muestra del 10% del total de pollos por cada cuadrante para determinar los signos de estrés por calor utilizando una sonda de penetración/inmersión. La sonda se introdujo suavemente entre 5 a 6 cm (dependiendo de la edad y el tamaño de los pollos) a nivel del colon terminal con precaución para no generar estrés. Este procedimiento se realizó a primeras horas de la mañana.

Finalmente, se realizó un análisis de factibilidad económica del uso de betaína en pollos de engorde para determinar la rentabilidad y mejor relación costo-beneficio (C/B) de la administración de betaína.

na.

3 Análisis estadístico

Se analizó la normalidad de los datos de peso promedio, ingesta de alimento, aumento de peso por animal y la temperatura corporal para determinar la normalidad en los dos ciclos de producción mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Si los datos presentaban la distribución normal entonces se aplicaba la prueba unidireccional ANOVA para determinar las diferencias en las medias entre tratamientos y ciclos. De lo contrario, se utilizó una prueba U de Mann-Whitney. Además, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple (RLM) para probar la hipótesis y analizar la influencia de los diferentes niveles de betaína en cada una de las variables independientes (peso final, consumo de alimento, ganancia de peso y temperatura corporal), utilizando un enfoque de mínimos cuadrados. Finalmente, se realizó una prueba *T* de student para comparar los pesos finales en cada ciclo de producción y determinar las diferencias estadísticas en la relación C/B. Se seleccionó el modelo más informativo en base al criterio de información de Akaike (AIC). Todos los análisis estadísticos se realizaron en la versión 3.4.1 del software R (The developmet Core Team, 2017).

4 Análisis de factibilidad económica

El análisis económico se realizó para ambos ciclos considerando el peso promedio final de los animales, el número total de pollos para cada tratamiento al final del ciclo y el precio por libra en el mercado en ese momento. En el análisis sólo se tuvieron en cuenta los costes variables durante el período del experimento (semana 7) (coste de alimentación y betaína). El ingreso neto de las aves de corral se determinó sobre la base de la diferencia entre la venta de los pollos (ingreso bruto) y los costes variables. Sobre la base del beneficio neto, se calculó la relación C/B para determinar cuál tratamiento fue el más adecuado, con mejores parámetros productivos y mejor rentabilidad.

5 Resultados y discusión

Los resultados mostraron que el T2 (1,5 g/l) tuvo el peso promedio más alto durante la FCP (2441±52,2 g) (Tabla 1) con diferencias significativas entre los cuatro tratamientos ($p < 0,05$; $n=97$). Durante la SCP,

el T4 (2,5 g/l) mostró el peso promedio más alto (2925±60,2g)(Tabla 2) con diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$; $n=83$). Hubo diferencias significativas entre ciclos, logrando un peso promedio más alto en el SCP (2735 ± 193,21 g) que en el FCP (2315±93,33 g).

Tabla 1. Rendimiento general de los pollos Ross línea 308 al final del período de engorde (48 días) con la administración de diferentes niveles de betaína durante el primer ciclo.

Tratamiento	Peso promedio ± SD (g)	Aumento de peso/animal/día (g)	Ingesta de alimento/animal/día (g)	% Mortalidad	Temperatura corporal (°C)	Nivel de corticosterona (nmol/L)
T1 (control)	2275 ± 32,8	70,2 ± 5,20	184,5 ± 1,10	4,29	42,5 ± 1,90	113,13 ± 11,55
T2 (1,5 g/L)	2441 ± 52,2	66,1 ± 8,46	182,3 ± 1,24	2,96	43,0 ± 2,62	123,10 ± 5,20
T3 (2 g/L)	2213 ± 35,6	35,1 ± 4,83	185,5 ± 1,06	5,33	42,8 ± 2,71	102,61 ± 15,13
T4 (2,5 g/L)	2335 ± 48,1	50,7 ± 5,96	185,7 ± 1,21	4,44	43,2 ± 1,89	112,64 ± 18,86

Tabla 2. Rendimiento general de los pollos Ross línea 308 al final del período de engorde (49 días) con la administración de diferentes niveles de betaína durante el segundo ciclo.

Tratamiento	Peso promedio ± SD (g)	Aumento de peso/animal/día (g)	Ingesta de alimento/animal/día (g)	% Mortalidad	Temperatura corporal (°C)	Nivel de corticosterona (nmol/L)
T1 (control)	2600 ± 50,4	71,6 ± 5,8	174,9 ± 1,6	5,2	43,7 ± 1,97	116,27 ± 14,9
T2 (1,5 g/L)	2903 ± 50,0	111,3 ± 9,4	172,1 ± 1,0	3,7	42,7 ± 2,3	124,32 ± 9,0
T3 (2 g/L)	2498 ± 41,9	55,7 ± 5,0	179,6 ± 1,72	7,2	43,5 ± 2,2	110,56 ± 15,5
T4 (2,5 g/L)	2925 ± 60,2	79,0 ± 8,4	167,3 ± 1,28	3,4	43,0 ± 2,2	120,8 ± 4,5

Durante la FCP y la SCP, el T2 mostró el mayor aumento de peso/animal/día con $66,1 \pm 8,46$ g y $111,3 \pm 9,44$ g, respectivamente (Tabla 1; Tabla 2) con diferencias significativas entre tratamientos. También se observaron diferencias significativas entre ciclos, obteniendo un mayor aumento de peso en el SCP ($79,7 \pm 21,66$ g/animal/día) que en el FCP ($47,16 \pm 13,18$ g/animal/día). La ingesta de alimento más alta durante el CPF fue de $185,7 \pm 1,21$ g pertenecientes a T4 (Tabla 1), con diferencias en todos los tratamientos excepto entre T3 y T4 ($p=0,353$; $W=244$; $n=97$). Durante la SCP, las tasas más altas de consumo de alimento correspondieron a T3, con

un promedio de $179,6 \pm 1,72$ g/animal/día (Tabla 2), mostrando diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$; $n=83$). Se observaron diferencias significativas entre los ciclos, mostrando una ingesta media global de $184,5 \pm 1,76$ g/día de animal/día y $173,4 \pm 4,68$ g/animal/día para el FCP y el SCP, respectivamente.

En el FCP, la mortalidad más baja al final del período de engorde fue de 2,96% en el T2 (Tabla 1), mientras que en el SCP fue de 3,43% en el T4 (Tabla 2). No se observaron diferencias entre ciclos. En total, se registraron 28 y 26 aves muertas en el FCP y el SPC, respectivamente. Finalmente, la tempera-

tura corporal durante la FCP no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$; $n=97$), registrando la temperatura más alta para el T4, con un promedio de $43,2 \pm 1,89$ °C (Tabla 1). Durante el SCP, la temperatura más alta para el T1 fue de $43,7 \pm 1,97$ °C (Tabla 2), sin mostrar diferencias significativas entre tratamientos. No se observaron diferencias significativas entre ciclos. Se puede observar que, en ambos ciclos, las temperaturas corporales de los pollos fueron inferiores a la temperatura letal superior (47 °C).

El análisis de corticosterona mostró que los pollos sufrieron estrés térmico agudo en todos los tratamientos durante la FCP (Tabla 1). En el SCP,

los niveles promedio de corticosterona en T1 y T3 estuvieron dentro de los rangos normales (80-120 nmol/l) a pesar de que algunos animales mostraron más de 120 nmol/l. Los T2 y T4 mostraron niveles promedio más altos de corticosterona con 124,3 nmol/l y 121,75 nmol/l, respectivamente (Tabla 2). No se observaron correlaciones entre variables en ninguno de los ciclos, ni problemas de multicolinealidad ($VIF < 10$). Los resultados de RLM se presentan en la Tabla 3 y 4 para el SCP y FCP, respectivamente. Los datos de todas las variables de ambos ciclos de producción no siguieron una distribución normal ($p < 0,05$, $n=97$ y $n=83$), por lo que se aplicó la prueba U de Mann-Whitney para determinar las diferencias en las medias entre tratamientos y ciclos.

Tabla 3. Regresión múltiple de la influencia de la administración de betaína en pollos Línea Ross 308 al final del período de engorde durante el primer ciclo.

		Estimado	Error Std.	Valor-t	Valor-p	R ²	R ² Ajustado	Estadístico-F	AIC
T1	Intercepción (peso)	1243,06	320,74	3,87	0,000874 ***				235,69
	Aumento de peso	-0,7156	0,24	-2,92	0,008150 **	0,42	0,36	7,73	
T2	Intercepción (temp)	44	0,9266	47484	<2e-16 ***				122,01
	Corticosterona (1,5 g/l)	-3,5	1,5366	-2278	0,0345 *	0,28	0,13	1,86	
T3	Intercepción (peso)	2280	24,82	91861	< 2e-16 ***				231,54
	Nivel de corticosterona (2 g/l)	-128	35,1	-3647	0,037 **	0,76	0,51	3,03	
T4	Intercepción (aumento de peso)	330,5	226,9	1456	0,1793				
	Nivel de corticosterona (2 g/l)	16,0	5,1	3135	0,0120*	0,82	0,55	3,04	

No hubo diferencias estadísticas en el peso final de todos los tratamientos excepto entre T2 y T3 ($p < 0,05$; $t=46,02$) para la FCP. Por lo tanto, en el análisis económico el T2 mostró el mejor ingreso neto más alto (\$371,99) con la relación C/B más alta (1,42), seguido por el tratamiento de control (T1) (1,28) (Tabla 5). En este ciclo, se utilizaron un total de 299,8; 390 y 490,6g de betaína para T2, T3 y T4, respectivamente. Para el SCP, no hubo diferencias estadísticas en el peso final de todos los tratamientos excepto entre T1 y T3 ($p = 0,0165$; $T = 18,33$), así como entre T2 y T3 ($p = 0,0203$; $T = 72,78$). En este ciclo, el T4 mostró la mejor relación C/B (1,93), presentando un ingreso neto más alto (\$ 398,81) seguido de T2 (Tabla 6). Se consumieron 256,5; 327,4

y 427,6 g en T2, T3 y T4, respectivamente.

Este estudio evaluó diferentes concentraciones de la inclusión de betaína en el agua potable para el control del estrés térmico agudo en pollos de la Línea Ross 308 a partir de los 38 días de edad y su efecto en los parámetros productivos, y su beneficio económico en áreas secas de la región interandina del Ecuador. En general, los resultados mostraron que el peso final de los pollos aumentó con un mayor nivel de betaína en el agua potable en comparación con el tratamiento de control (T1), particularmente con la adición de 1,5 g/l (T2) y 2,5 g/l (T4) en ambos ciclos, respectivamente.

Durante el FCP, los resultados indicaron que el aumento de peso mostró un efecto significativo en el peso final de los pollos de engorde en el T1 en comparación con las otras variables (ingesta de alimentos, temperatura corporal). En el T2, la betaína no tuvo ningún efecto significativo en ninguna de las variables, excepto con la temperatura corporal. En el T3 se observó que la inclusión de betaína de 2 g/l tuvo un efecto significativo en el peso final de los pollos de engorde. La inclusión de este nivel influyó significativamente en el aumento de peso, pero no en el consumo de alimentos. Cabe señalar que, en este último, el efecto de la betaína se vio afectado por la presencia de otras variables en el modelo. Esto puede explicar la desproporción del peso corporal y el aumento de peso.

Tabla 4. Regresión múltiple de la influencia de la suministración de betaína en pollos Línea Ross 308 al final del período de engorde durante el segundo ciclo.

		Estimado	Error Std,	Valor-t	Valor-p	R ²	R ² -ajustado	Estadístico-F
T1	Intercepción (Aumento de peso)	1244,2	458,8	2,7	0,0161 *			
	Ingesta de alimentos	-5,6	2,2	-2,4	0,0247 *	0,38	0,17	1,84
	Intercepción (Ingesta de alimentos)	193,1	4,4	42,9	<2e-16 ***			
	Temperatura	-0,37	0,08	-4,6	0,000286 ***			
	Aumento de peso	-0,05	0,02	-2,4	0,024932 *			
	Nivel de Corticosterona (1,5 g/l)	1,5	0,45	3,4	0,003643 **	0,67	0,59	8,47
T2	Intercepción (Temperatura)	310,7	57,53	5,4	5,89e-05 ***			
	Ingesta de alimentos	-1,5	0,32	-4,61	0,000286 ***			
	Aumento de peso	-0,09	0,04	-2,15	0,046975 *			
	Nivel de Corticosterona (1,5 g/l)	2,73	0,98	2,78	0,013171 *	0,59	0,49	5,82
T3	Intercepción (Ingesta de alimento)	154,9	14,6	10,5	3,69e-09 ***			
	Aumento de peso	-0,009	0,003	-2,617	0,0175 *	0,61	0,57	14,6
T4	Intercepción (Ingesta de alimento)	169	0,63	264,9	<2e-16 ***			
	Nivel de Corticosterona (2,5 g/l)	-2,28	0,76	-2,99	0,00772 **	0,33	0,25	4,49

El aumento de peso también mejoró significativamente con niveles más altos de inclusión de betaína en ambos ciclos. Los resultados obtenidos son similares a los estudios que mostraron un mayor aumento de peso en pollos de engorde durante el período de estrés térmico (Attia y col., 2005; Chen y col., 2018). Otros estudios no mostraron efectos significativos de la betaína en el aumento de peso ni en la ingesta de los alimentos (Harms y Russell, 2002; Park y Ryu, 2010). Debido a su propiedad de aporte de metilo, la betaína podría ser accesible para otras funciones clave como la síntesis de proteínas y la modulación inmune, lo que resulta en un mejor rendimiento de los pollos de engorde.

Varios autores han encontrado que la aplicación de diferentes niveles de betaína (0; 0,5; 1,0 y 1,5 g/kg) en la dieta tiene efectos significativos en el peso corporal, el aumento de peso, el consumo de alimentos y la conversión de alimentos (Awad y col., 2014). Por otro lado, Nofal y col. (2015) mostraron que los niveles de betaína del 0,1% y del 0,2% en la dieta mejoraron el peso corporal, el aumento de peso, la relación de conversión de alimentos y la tasa de mortalidad. Otros autores han descubierto que diferentes niveles de betaína en la alimentación mejora la tasa de conversión (Tolba, Shabaan y Wagdy, 2007; Honarbakhsh, Zaghari y Shivazad, 2007; Zulkifli, Mysahra y Jin, 2004). Shaojun y col. (2015) encontraron que el 0,1%, 0,2% y 0,4% de betaína mos-

traron un aumento en el consumo de alimento, asociado con un aumento en el peso corporal y una menor conversión de alimentos. Por otra parte, Sakomura y col. (2013) mostraron que el 0,05% y el 0,075% de la suplementación con betaína no tuvieron un efecto significativo en parámetros producti-

vos tales como la ingesta de alimento y el aumento de peso corporal. Asimismo, El Shinnawy (2015) encontró que las dosis de 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 g/kg de betaína en la dieta indicaron un aumento significativo en el peso corporal y aumento de peso.

Tabla 5. Análisis de viabilidad económica y sensibilidad en el uso de betaína a diferentes niveles de suministro en el agua potable en pollos de engorde Ross 308 durante el primer ciclo.

Tratamiento	Peso promedio (g)	Peso promedio (libras)	Precio por libra (\$)	Número de animal	Ingreso bruto (\$)	Ingesta de alimentos (g/animal/día)	Ingesta total (\$)	Cantidad de alimento (20 kg)	Precio unitario (20 kg)	Costo total (\$)	Ingreso neto (\$)	Relación costo/beneficio
T1	2275	5,00	0,75	162	607,5	184,3	209,0	10,00	25	261,3	346,1	1,32
T2	2441	5,37	0,75	164	660,5	182,9	210,0	10,00	25	261,3	371,9	1,42
T3	2213	4,87	0,75	160	584,4	185,3	207,5	10,37	25	259,4	298,9	1,15
T4	2335	5,13	0,75	161	619,4	185,4	209,0	10,45	25	287,3	332,1	1,15

Tabla 6. Análisis de viabilidad económica y sensibilidad en el uso de betaína a diferentes niveles de suministro en el agua potable en pollos de engorde Ross 308 durante el segundo ciclo.

Tratamiento	Peso promedio (g)	Peso promedio (libras)	Precio por libra (\$)	Número de animal	Ingreso bruto (\$)	Ingesta de alimentos (g/animal/día)	Ingesta total (\$)	Cantidad de alimento (20 kg)	Precio unitario (20 kg)	Costo total (\$)	Ingreso neto (\$)	Relación costo/beneficio
T1	2600	5,72	0,70	137	548,5	174,9	167,8	8,39	25	209,7	338,7	1,61
T2	2903	6,38	0,70	140	625,8	172,1	168,7	8,43	25	210,9	388,9	1,84
T3	2498	5,49	0,70	134	515,4	179,6	168,4	8,42	25	210,5	278,8	1,32
T4	2925	6,43	0,70	140	630,4	168,0	164,6	8,23	25	205,8	398,8	1,93

Según la hipótesis del presente estudio, la mayor concentración de betaína en el agua potable está relacionada a un mayor peso final promedio, con un aumento de peso ligeramente menor y sin tendencia a marcar la ingesta de alimentos al final del período de engorde en comparación con el tratamiento control (T1). Para el T4 no se observó ninguna relación significativa entre el nivel de betaína y ninguna de las variables (peso, aumento de peso, ingesta de alimentos, temperatura corporal). La inclusión excesiva de betaína en el agua potable puede causar pérdida de energía debido a su excreción y aumentar el nivel de betaína, lo que puede reducir su eficacia.

El peso final de los pollos no se vio comprometido al final del ciclo productivo. Se suponía que, durante las horas más calurosas, los animales reducirían el consumo alimenticio; sin embargo, esto sólo ocurrió en el caso de SCP, en el que el consumo disminuyó ligeramente en un -0,4% entre la sexta y la séptima semana, mientras que para el FCP au-

mentó en un 13%. Los resultados pueden reflejarse en los niveles de corticosterona, donde los animales en el segundo ciclo mostraron niveles promedios más altos (117,9 nmol/l), cerca del límite del rango normal (80-120 nmol/l), que se asociaría a una reducción de la ingesta de alimentos. Varios factores pueden explicar estas diferencias, tales como la duración y extensión del estrés térmico, tipos de pollos de engorde, etapas de crecimiento, tipo de dietas, y períodos de alteraciones osmóticas causadas por estrés térmico en el cual la betaína puede proteger y mejorar las características morfológicas del epitelio intestinal. Estos resultados también son parcialmente consistentes con varios autores (Zulkifli, Mysahra y Jin, 2004) quienes no reportaron ningún efecto significativo de la suplementación de betaína en la ingesta de alimento. Sin embargo, son consistentes con los obtenidos por Attia y col. (2005), Zhang y col. (2016), He y col. (2015) al mencionar que la suplementación con betaína mostró un mejor desempeño de crecimiento con el aumento en el peso final y el aumento de peso.

En el análisis económico, los mejores tratamientos con mayores ingresos netos y menor porcentaje de mortalidad al final del período de engorde fueron 1,5 g/l (T2) y 2,5 g/l (T3) de betaína para el FCP y el SCP, respectivamente. El T2 (1,42) y el T4 (1,93) mostraron la mejor relación C/B durante el SCP. El último puede explicarse debido al mayor peso final del corral al final del período de engorde que se refleja en una mejor relación C/B. Las diferencias estadísticas en términos del peso final de pollos entre el T2 y el T3 en el FCP, y entre el T1 y el T3, así como el T2 y el T3 en el SCP indican que los bajos niveles de betaína en el agua potable pueden mejorar la relación C/B al final del período de engorde. Sin embargo, en el SCP, el T4 mostró la mejor relación C/B. Este resultado sugiere que la relación C/B puede depender del peso final de los pollos, así como del precio en el mercado que determinará la mejor rentabilidad para el agricultor. Amer y col. (2018) han descubierto que la ingesta de comida mejoró el crecimiento con un mejor rendimiento de la rentabilidad neta y la relación C/B, y sugieren que la mejora en el peso final y el aumento de peso debido a la suplementación con betaína podría atribuirse a la propiedad osmótica de la betaína que apoya el crecimiento celular intestinal y mejora la actividad celular, mejorando la absorción de nutrientes.

6 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la suplementación de betaína en el agua potable en pollos Línea Ross 308 puede mejorar el peso final promedio, particularmente con niveles de 1,5 g/l y reducir la mortalidad al final del período. Los niveles más altos de betaína (2,5 g/l) también pueden mejorar la rentabilidad del productor; sin embargo, podría depender de factores como el peso final, el precio de mercado, el manejo adecuado de los pollos al interior del galpón y las condiciones ambientales adecuadas dentro del mismo. Finalmente, este estudio sugiere la aplicación de betaína en el agua potable en pollos comerciales en producciones pequeñas y grandes especialmente en los últimos días del período de engorde, para superar el estrés térmico agudo en regiones en zonas con clima mediterráneo. Además, es necesario una gestión adecuada a lo largo del ciclo de producción para minimizar el estrés térmico en los animales. Las prácticas ta-

les como una buena ventilación dentro del corral, el ajuste de la densidad de las aves, el suministro de alimentos en las horas más frescas del día o la reducción de los efectos de temperaturas excesivas al separar las aves por sexo pueden ayudar a mitigar sus efectos.

Referencias

- Aengwanich, W. (2007). «Effects of high environmental temperature on the body temperature of Thai indigenous, Thai indigenous crossbred and broiler chickens». En: *Asian Journal of Poultry Science* 2.1, 48-52. Online: <https://bit.ly/3EdaYdl>.
- Ahmed, M., Z. Ismail y A. Abdel (2018). «Application of betaine as feed additives in poultry nutrition-a review». En: *Journal of Experimental and Applied Animal Sciences* 2.3, 266-272. Online: <https://bit.ly/3xDUvfY>.
- Ajakaiye, J., A. Pérez y A. Mollineda (2011). «Effects of high temperature on production in layer chickens supplemented with vitamins C and E». En: *Revista MVZ Córdoba* 16.1, 2283-2291. Online: <https://n9.cl/6etf9>.
- Akbarian, A. y col. (2016). «Association between heat stress and oxidative stress in poultry; mitochondrial dysfunction and dietary interventions with phytochemicals». En: *Journal of Animal Science and Biotechnology* 7.1, 1-14. Online: <https://bit.ly/3rutvP3>.
- Alagawany, M. y col. (2017). «Heat stress: effects on productive and reproductive performance of quail». En: *World's Poultry Science Journal* 73.4, 747-756. Online: <https://bit.ly/3lkwhCf>.
- Amer, S. y col. (2018). «Impact of betaine supplementation on the growth performance, tonic immobility, and some blood chemistry of broiler chickens fed normal and low energy diets during natural summer stress». En: *Zagazig Veterinary Journal* 46.1, 37-50. Online: <https://bit.ly/3lnB2eD>.
- Araújo, F. y col. (2015). «Broiler surface temperature and behavioral response under two different light sources». En: *Brazilian Journal of Poultry Science* 17.2, 219-226. Online: <https://bit.ly/31eSmes>.
- Attia, Y. y col. (2005). «Growth, carcass quality and serum constituents of slow growing chicks as affected by betaine addition to diets containing 2.

- Different levels of methionine». En: *International Journal of Poultry Science* 4.11, 856-865. Online: <https://bit.ly/31HcTIY>.
- Awad, AL y col. (2014). «Effect of dietary betaine supplementation on growth performance and carcass traits of Domyati ducklings under summer conditions.» En: *Egyptian Poultry Science Journal* 34.4, 1019-1038. Online: <https://bit.ly/3d5CkGn>.
- Baracho, M. y col. (2011). «Surface temperature distribution in broiler houses». En: *Brazilian Journal of Poultry Science* 13.3, 177-182. Online: <https://bit.ly/3pfOcv9>.
- Baracho, MS y col. (2019). «Factors affecting broiler production: A meta-analysis». En: *Brazilian Journal of Poultry Science* 2121.3, 1-10. Online: <https://bit.ly/3d3NADe>.
- Barzegar, S. y col. (2020). «Factors affecting energy metabolism and evaluating net energy of poultry feed». En: *Poultry science* 99.1, 487-498. Online: <https://bit.ly/3ly14vy>.
- Bhadauria, P. y col. (2017). *Management of heat stress in poultry production system*. ICAR- Agricultural Technology Application Research Institute, Zone-1, Ludhiana-141004.
- Borges, S., A. Da Silva y A. Maiorka (2007). «Acid-base balance in broilers». En: *World's Poultry Science Journal* 63.1, 73-81. Online: <https://bit.ly/3EniFxp>.
- Chen, R. y col. (2018). «Betaine improves the growth performance and muscle growth of partridge shank broiler chickens via altering myogenic gene expression and insulin-like growth factor-1 signaling pathway». En: *Poultry science* 97.12, 4297-4305. Online: <https://bit.ly/3lj7vg0>.
- Da Silva, T., H. Pandorfi y C. Guiselini (2015). «Energy balance in the poultry-shed system and its influence on broiler performance». En: *Engenharia Agrícola* 35.4, 613-624. Online: <https://bit.ly/31sC6al>.
- Dayyani, N. y H. Bakhtiari (2013). «Heat stress in poultry: background and affective factors». En: *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 1.11, 1409-1413. Online: <https://bit.ly/3y51EWY>.
- Delles, R. y col. (2014). «Dietary antioxidant supplementation enhances lipid and protein oxidative stability of chicken broiler meat through promotion of antioxidant enzyme activity». En: *Poultry Science* 93.6, 1561-1570. Online: <https://bit.ly/3y4qMNa>.
- Eklund, M. y col. (2005). «Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock». En: *Nutrition research reviews* 18.1, 31-48. Online: <https://bit.ly/3rJvkYd>.
- El Shinnawy, A. (2015). «Effect of betaine supplementation to methionine adequate diet on growth performance, carcass characteristics, some blood parameters and economic efficiency of broilers». En: *Journal of Animal and Poultry Production* 6.1, 27-41. Online: <https://bit.ly/31FXjxk>.
- Fisinin, V. y A. Kavtarashvili (2015). «Heat stress in poultry. II. Methods and techniques for prevention and alleviation». En: *Agricultural Biology* 50.4, 431-443. Online: <https://bit.ly/3y0kq1y>.
- Harms, R.H. y G. Russell (2002). «Betaine Does Not Improve Performance of Laying Hens when the Diet Contains Adequate Choline». En: *Poultry Science* 81.1, 99-101. Online: <https://bit.ly/34XMV5p>.
- He, S. y col. (2015). «Effects of dietary betaine on growth performance, fat deposition and serum lipids in broilers subjected to chronic heat stress». En: *Animal Science Journal* 86.10, 897-903. Online: <https://bit.ly/3dvkgG0>.
- Honarbaksh, S., M. Zaghari y M. Shivazad (2007). «Can exogenous betaine be an effective osmolyte in broiler chicks under water salinity stress?» En: *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 20.11, 1729-1737. Online: <https://bit.ly/3pHHnD4>.
- Knížatová, M. y col. (2010). «Effect of the age and season of fattening period on carbon dioxide emissions from broiler housing». En: *Czech Journal of Animal Science* 55.10, 436-444. Online: <https://bit.ly/3dwpBwB>.
- Lara, L. y M. Rostagno (2013). «Impact of heat stress on poultry production». En: *Animals* 3.2, 356-369. Online: <https://bit.ly/3EJ9Iz5>.
- Lin, H. y col. (2006). «Strategies for preventing heat stress in poultry». En: *World's Poultry Science Journal* 62.1, 71-86. Online: <https://n9.cl/bqddv>.
- Liu, W. y col. (2019). «Effects of dietary betaine on growth performance, digestive function, carcass traits, and meat quality in indigenous yellow-feathered broilers under long-term heat stress». En: *Animals* 9.8, 506. Online: <https://bit.ly/33gKaLQ>.
- Lu, Z. y col. (2017). «Chronic heat stress impairs the quality of breast-muscle meat in broilers by affecting redox status and energy-substance me-

- tabolism». En: *Journal of agricultural and food chemistry* 65.51, 11251-11258. Online: <https://bit.ly/3GuGh4i>.
- Martin, L. y col. (2011). «Stress and animal health: physiological mechanisms and ecological consequences». En: *Nature Education Knowledge* 3.6, 11. Online: <https://go.nature.com/30aDe1u>.
- Mascarenhas, N. y col. (2020). «Thermal conditioning in the broiler production: challenges and possibilities». En: *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology* 6.2, 52-55. Online: <https://bit.ly/3EIB2gQ>.
- McDevitt, R., S. Mack e I. Wallis (2000). «Can betaine partially replace or enhance the effect of methionine by improving broiler growth and carcass characteristics?». En: *British Poultry Science* 41.4, 473-480. Online: <https://bit.ly/3GwFDDa>.
- Mutibvu, T., M. Chimonyo y T. Halimani (2017). «Physiological responses of slow-growing chickens under diurnally cycling temperature in a hot environment». En: *Brazilian Journal of Poultry Science* 19, 567-576. Online: <https://bit.ly/3dyTjBk>.
- Nascimento, G. y col. (2011). «Assessment of broiler surface temperature variation when exposed to different air temperatures». En: *Brazilian Journal of Poultry Science* 13, 259-263. Online: <https://bit.ly/3rOEOla>.
- Nascimento, S. y col. (2017). «Metabolic heat production and evaporation of poultry». En: *Poultry science* 96.8, 2691-2698. Online: <https://bit.ly/3GmLATg>.
- Nawab, A. y col. (2018). «Heat stress in poultry production: Mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry». En: *Journal of Thermal Biology* 78, 131-139. Online: <https://bit.ly/3pPvTgS>.
- Nilsson, J., M. Molokwu y O. Olsson (2016). «Body temperature regulation in hot environments». En: *PloS one* 11.8, e0161481. Online: <https://bit.ly/31HbAtG>.
- Nofal, M. y col. (2015). «Effect of dietary betaine supplementation on productive, physiological and immunological performance and carcass characteristic of growing developed chicks under the condition of heat stress». En: *Egyptian Poultry Science Journal* 35.1, 237-259. Online: <https://n9.cl/6b97a>.
- Nudiens, J. y col. (2001). «Utilization of Betafin in feeding broiler-chicks». En: *Proceedings in Agronomy* 3, 130-133. Online: <https://bit.ly/3rSXCzX>.
- Nyoni, N., S. Grab y E. Archer (2019). «Heat stress and chickens: climate risk effects on rural poultry farming in low-income countries». En: *Climate and Development* 11.1, 83-90. Online: <https://bit.ly/31N5aJt>.
- Olanrewaju, H. y col. (2006). «Stress and acid-base balance in chickens». En: *Poultry science* 85.7, 1266-1274. Online: <https://bit.ly/3Gv483D>.
- Park, J. y K. Ryu (2010). «Relationship between dietary protein levels and betaine supplementation in laying hens». En: *The Journal of Poultry Science* 48.4, 217-222. Online: <https://bit.ly/3ICBPCf>.
- Pawar, S. y col. (2016). «Assessing and mitigating the impact of heat stress in poultry». En: *Advances in Animal and Veterinary Sciences* 4.6, 332-341. Online: <https://bit.ly/3GtVJ0r>.
- Pereira, D. e I. Nääs (2008). «Estimating the thermoneutral zone for broiler breeders using behavioral analysis». En: *Computers and electronics in agriculture* 62.1, 2-7. Online: <https://bit.ly/3pMB4Ov>.
- Ranjan, A. y col. (2019). «Effect of heat stress on poultry production and their managerial approaches». En: *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 8.02, 1548-1555. Online: <https://bit.ly/3oG0zBM>.
- Rath, P. y col. (2015). «Amelioration of heat stress for poultry welfare: a strategic approach». En: *International Journal of Livestock Research* 5.3, 1-9. Online: <https://bit.ly/3EJ9c3W>.
- Ratriyanto, A. y col. (2009). «Metabolic, osmoregulatory and nutritional functions of betaine in monogastric animals». En: *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 22.10, 1461-1476. Online: <https://bit.ly/3GvJH6K>.
- Saeed, M. y col. (2019). «Heat stress management in poultry farms: a comprehensive overview». En: *Journal of thermal biology* 84, 414-425. Online: <https://bit.ly/3lVu0hj>.
- Sakomura, N. y col. (2013). «Effect of dietary betaine supplementation on the performance, carcass yield, and intestinal morphometrics of broilers submitted to heat stress». En: *Brazilian Journal of Poultry Science* 15, 105-112. Online: <https://bit.ly/3IOMVnY>.
- Scanes, C. (2016). «Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio». En: *Poultry science* 95.9, 2208-2215. Online: <https://bit.ly/3IGlg8E>.
- Shakeri, M. y col. (2018). «Betaine and antioxidants improve growth performance, breast mus-

- cle development and ameliorate thermoregulatory responses to cyclic heat exposure in broiler chickens». En: *Animals* 8.10, 162. Online: <https://bit.ly/30d7dG2>.
- Shaojun, H. y col. (2015). «Effects of dietary betaine on growth performance, fat deposition and serum lipids in broilers subjected to chronic heat stress». En: *Animal Science Journal* 86.10, 897-903. Online: <https://bit.ly/3s0rHxv>.
- Shlomo, Y. (2015). «Sturkie's Avian Physiology (Sixth Edition)». En: ed. por C. Scanes. Academic Press. Cap. Chapter 37 - Regulation of Body Temperature: Strategies and Mechanisms, págs. 869-905.
- Syafwan, S., R. Kwakkel y M. Verstegen (2011). «Heat stress and feeding strategies in meat-type chickens». En: *World's Poultry Science Journal* 67.4, 653-674. Online: <https://bit.ly/30fMvW5>.
- The developmet Core Team (2017). *A language and environment for statistical computing*. Foundation for statistical computing.
- Tickle, P., J. Hutchinson y J. Codd (2018). «Energy allocation and behaviour in the growing broiler chicken». En: *Scientific reports* 8.1, 1-13. Online: <https://go.nature.com/3lUkbA5>.
- Tolba, A., S. Shabaan y A. Wagdy (2007). «Improvement of Fayoumi laying hens performance under hot climate conditions, 2. Betaine, folic acid and choline.» En: *Egyptian Poultry Science Journal* 1, págs. 21-35.
- Zaboli, G. y col. (2019). «How can heat stress affect chicken meat quality? A review». En: *Poultry science* 98.3, 1551-1556. Online: <https://bit.ly/3rSzJs7>.
- Zahoor, I. y col. (2016). «Predicted optimum ambient temperatures for broiler chickens to dissipate metabolic heat do not affect performance or improve breast muscle quality». En: *British poultry science* 57.1, 134-141. Online: <https://bit.ly/3EK1WVD>.
- Zhang, S. y col. (2016). «Effects of sustained cold and heat stress on energy intake, growth and mitochondrial function of broiler chickens». En: *Journal of integrative agriculture* 15.10, 2336-2342. Online: <https://bit.ly/3EK2KtD>.
- Zulkifli, I., S. Mysahra y L. Jin (2004). «Dietary Supplementation of Betaine (Betafin) and Response to High Temperature Stress in Male Broiler Chickens». En: *Asian-australasian journal of animal sciences* 17.2, 244-249. Online: <https://bit.ly/3rQPzn3>.