









Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2026; 17:1-14. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2026.1>

Nota de Investigación. Recibido:05/03/2025. Aceptado:02/02/2026. Publicado:17/05/2026. Clave: e2025-106.

<https://www.youtube.com/watch?v=bNxGYigfpy4>

Optimización de la relación temperatura-humedad en pollo de engorda mediante análisis de superficie de respuesta en condiciones comerciales

Application of response surface analysis to optimize the temperature-humidity relationship in broilers reared under commercial conditions

Juárez-Caratachea Aureliano¹ , Luna-Espinosa Carlos¹ , Gutiérrez-Vázquez Ernestina¹ , Pérez-Sánchez Rosa² , Val-Arreola Daniel^{*1} , Ortiz-Rodríguez Ruy³ 



¹Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. México. ²Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Facultad de Químico-Farmacobiología. México. ³Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México. *Autor de correspondencia: Daniel Val-Arreola. Email: aureliano.juarez@umich.mx, carlos_010788@hotmail.com, ernestina.gutierrez@umich.mx, rosa.perez@umich.mx, dval@umich.mx, ruy.ortiz@umich.mx

RESUMEN

Se evaluaron los efectos de los cambios de temperatura y humedad relativa dentro de la caseta (DC) y su efecto sobre los indicadores productivos en pollo de engorda criado en un sistema comercial con control manual de temperaturas y humedad. Se analizaron cuatro ciclos productivos (26,000 aves/ciclo; 10 pollos/m²). Cada ciclo comprendió cuatro fases productivas (pre-inicio, inicio, desarrollo y finalización), el alimento y agua se proporcionaron *ad libitum*. Se tomaron seis muestras de 120 aves por ciclo en cada fase y se determinó peso corporal y ganancia de peso diaria, se estimó el consumo de alimento e índice de conversión alimenticia ciclo⁻¹ fase⁻¹. La información se analizó bajo modelos de efectos fijos, componentes principales (CP) y, análisis de superficie de respuesta (ASR). Las temperaturas y humedades fueron diferentes ($P < 0.05$) entre los ciclos y fases. La temperatura y la humedad afectaron ($P < 0.001$) los indicadores productivos por ciclo en cada fase. Aspecto que se corroboró con el análisis de CP ($P < 0.001$). Mientras que, el ASR determinó, que, en los sistemas con control manual de temperatura y humedad, el proceso de optimización de las ecuaciones de regresión para el desarrollo de las aves con la mejor combinación de temperaturas y humedad relativa fueron: 29°C/31%, 26°C/35%, 25°C/35%, 30°C/44%, 14°C/64% y 18°C/50% para las semanas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, respectivamente.

Palabras clave: pollo de engorda, análisis de superficie de respuesta, índice temperatura-humedad.

ABSTRACT

The effects of changes in house temperature and relative humidity (RH) and their relationship on broiler production indicators in a commercial system with manual control of temperature and humidity were evaluated. Four production cycles were analyzed (26,000 birds/cycle; 10 broilers/m²). Each cycle consisted of four production phases (pre-starter, starter, grower and finisher). Feed and water were provided *ad libitum*. Six samples were taken from 120 birds per cycle in each phase, and body weight and daily weight gain were determined, as well as feed consumption and feed conversion ratio 1, phase 1 were estimated. The information was analyzed under fixed effects, principal components (PC) and



response surface analysis (RSA) models. Temperatures and humidity were different ($P < 0.05$) between cycles within each phase. Temperature and humidity affected ($P < 0.001$) the productive indicators per cycle across phases. This was corroborated by the PC analysis ($P < 0.001$). Meanwhile, the optimization process of the regression equations showed that the best combination of temperature and relative humidity was 29°C/31%, 26°C/35%, 25°C/35%, 30°C/44%, 14°C/64% y 18°C/50% and for weeks 1, 2, 3, 4, 5 y 6, respectively.

Keywords: broiler, response surface analysis, temperature-humidity index.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los avances en las áreas de la genética, nutrición, sanidad e infraestructura han permitido un acelerado crecimiento y productividad de la avicultura ([Hassan et al., 2022](#); [Nilipour, 2012](#)), mismos que están ligados a la generación de nuevas líneas genéticas que bajo condiciones experimentales, las aves pueden alcanzar 3.5 kg de peso vivo, en 42 días post-nacimiento; este acelerado crecimiento de los pollos de engorda, en un ciclo tan corto, implica un consumo total de alimento de 4.6 kg/ave y una conversión alimenticia de 1.58 kg/kg de alimento consumido ([Cobb-Vantress, 2022](#); [Aviagen, 2022](#)). Sin embargo, bajo condiciones de las granjas comerciales, las nuevas líneas genéticas de pollo de engorda enfrentan varios factores que limitan dicho potencial genético y entre los que se encuentran los ambientales, la temperatura y humedad interna de la caseta ([Arantes de Sousa et al., 2016](#)), dada la elevada actividad metabólica del pollo de engorda durante su desarrollo hacen que este sea más sensible a los cambios ambientales presentes en las granjas comerciales ([Quintana, 2020](#)).

Los principales cambios fisiológicos que se han observado en aves bajo estrés térmico es principalmente la modificación del apetito ([Hai et al., 2000](#); [Song et al., 2012](#)), cambios en la morfología intestinal y en la absorción de los nutrientes del alimento ([Arantes de Sousa et al., 2016](#)), que, como consecuencia limitan el desarrollo corporal del pollo de engorda. El Índice de Temperatura y Humedad (THI) se ha establecido como una forma de evaluar los efectos de las condiciones térmicas en el estado fisiológico y el desempeño productivo de los animales de granja, dicho indicador se ha desarrollado como un indicador lineal de una combinación lineal de la temperatura de bulbo seco (T_{db}) y bulbo húmedo (T_{wb}), para diferentes especies ([Tao & Xin, 2003](#)). THI es uno de índices de confort termal más utilizados el cual incorpora tanto la temperatura y la humedad relativa con diferentes pesos específicos para poder cuantificar el grado de estrés calórico en los animales de granja ([DeShazer et al., 2009](#)). Las ecuaciones de THI describen la importancia relativa de T_{db} y T_{wb} en las diferentes especies basándose en parámetros fisiológicos, generación de calor o desempeño productivo, para tal fin diferentes pesos específicos han sido propuestos para diferentes especies y en diversos ambientes climáticos ([Omomowo & Falayi, 2021](#)). Sin embargo, existen pocas investigaciones que evalúan las condiciones óptimas bajo condiciones comerciales, y adicionalmente dichos índices no indican como las medidas que integran el índice



contribuyen a la variable de respuesta. La metodología de respuesta de superficie (RSM) es un método cuyo objetivo es optimizar dicha respuesta y entender la topografía de la respuesta la cual incluye el máximo local, el mínimo local, las líneas limítrofes estos elementos en su conjunto permiten encontrar la región en donde la mejor respuesta puede ocurrir (Pishgar-Komleh *et al.*, 2012; Aydar, 2017). ASR examina si el grado de congruencia de dos variables independientes están relacionadas a una variable de respuesta a través de una ecuación polinomial (Taheri *et al.*, 2011; Khuri, 2017; Williams *et al.*, 2019). El objetivo del presente estudio fue registrar los cambios de temperatura y humedad en el ambiente interno de las casetas para pollos de engorda y conocer su efecto en los indicadores productivos con el propósito de aplicar el análisis de superficie de respuesta, identificar los valores de temperatura y humedad óptimos que permitan optimizar su respuesta productiva.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un sistema de producción comercial de pollo de engorda, en el estado de Michoacán, México ubicado a 19°45' latitud norte y 101°03' longitud oeste, altura de 1,900 msnm con clima cálido subhúmedo cuya temperatura varía entre los 4.5 a 36.4°C, a lo largo del año. Se evaluaron cuatro ciclos de producción, durante los meses de enero-octubre. La granja tiene una capacidad instalada para albergar a un total de 26,000 aves por ciclo (50% machos y 50% hembras) a una densidad de 10 pollos/m² bajo ambiente semi-controlado. Como fuente de calor se utilizaron campanas radiantes (criadoras) a gas programadas de forma manual. Tanto la temperatura (TIC) como la humedad (HIC) interna de las casetas se controló manualmente, de tal manera que se ajustara la TIC y HIC de acuerdo con la edad de los pollos (Cobb-Vantress, 2022; Aviagen, 2022). Se consideraron cuatro fases de producción: pre-inicio (1 a 7 d de edad), inicio (8 a 21 d de edad), desarrollo (22 a 35 d de edad) y finalización (36 a 42 d de edad).

El alimento comercial y el agua se suministraron *ad libitum*; de acuerdo con los requerimientos específicos para el genotipo de los pollos adquiridos por el sistema (Cobb 500®). En cada caseta y ciclo productivo se recopiló temperatura (°C) interna de la caseta (TIC) y humedad (%) interna de caseta (HIC) todos los días. El registro de la TIC se realizó tanto con un termómetro laser (marca GB Model-TN438L0/precisión ±0.1°C) así como, con un termó-higrometro digital (marca Thermo-hygro GB Modelo-TM-977H). Se monitorearon 120 aves (40 aves por ciclo) seleccionadas al azar. Por lo que, al finalizar cada ciclo de producción fueron utilizadas 720 aves por caseta. Cada ave fue pesada con una báscula digital (Bch-5,000/Metrology) con capacidad para 5.0 ± 0.001 kg para obtener el Peso (kg) corporal (PC) del ave semanal y la Ganancia de peso (kg) (GPD) diaria. También se registró Consumo de alimento por fase y Mortalidad diaria. La información se analizó mediante correlaciones de Pearson, coeficientes de la



regresión lineal, no lineal y ANOVA, bajo la metodología de modelos de efectos fijos (Littell *et al.*, 2006), mediante el siguiente modelo: $Y_{ijkl} = \mu + C_i + FS_j + SM_k + SX_l + (C*FS*SX)_{ijl} + (C*SM*SX)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$. Donde: Y_{ijkl} = Variable respuesta: Temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta, peso corporal (PC), ganancia de peso diaria (GPD), consumo de alimento (CA), conversión de alimento (ICA) y mortalidad diaria (Md); μ = Constante que caracteriza la población; C_i = Efecto fijo del j -ésimo ciclo ($i=1^{er}, 2^{do}, 3^{ro}$ y 4^{to}); FS_j = Efecto fijo de la j -ésima fase ($j=$ Preinicio, inicio, desarrollo y finalización); SM_k = Efecto fijo de la j -ésima semana ($k= 1, 2, 3, 4, 5$ y 6); SX_l = Efecto fijo del j -ésimo sexo de las aves ($l=$ macho y hembra); $(C*FS*SX)_{ijl}$ = Efecto de la interacción del j -ésimo ciclo con la j -ésima fase y el j -ésimo sexo; $(C*SM*SX)_{ijk}$ = Efecto de la interacción del j -ésimo ciclo con la j -ésima semana y el j -ésimo sexo; ε_{ijkl} = Efecto aleatorio asociado a cada observación ($\sim NID=0, \sigma^2_e$).

Las diferencias entre sexos o ciclos se realizaron a través de medias de mínimos cuadrados a un $\alpha = 0.05$ (Littell *et al.*, 2002). La información recopilada se analizó con un análisis de componentes principales (ACP) a partir del análisis de la matriz de correlación entre los indicadores, según el criterio de selección de componentes con valor propio, mayor o igual a la unidad ($\lambda \geq 1$) (Montanero, 2008; Torres *et al.*, 2008) con SPSS®. Mientras que, para el análisis de superficie de respuesta (Montgomery, 2002), se utilizó un modelo tipo Box-Behnken con 2 factores, se seleccionaron como variables del proceso: TIC y HIC sobre la variable respuesta PC con MINITAB-14®. La optimización de los valores TIC y HIC que permiten obtener los mayores pesos corporales fue a través del complemento SOLVER de Excel®, en donde la función objetivo fue la ecuación obtenida por el análisis de superficie, y las variables de decisión fueron TIC y HIC, dada la naturaleza de los variables analizadas se utilizó el algoritmo GRG Nonlinear para encontrar una solución óptima local (Muzzammil *et al.*, 2015).

RESULTADOS

En el Cuadro 1 se muestran las medias de mínimos cuadrados para PC, GDP, CA, ICA, HIC y TIC, según sexo, fase y ciclo de producción. De manera general se pueden observar diferencias entre los ciclos de producción en donde el ciclo 4 observó en el caso valores mayores de PC y GDP en comparación del resto de los ciclos productivos, así mismo se observan diferencias de desempeño entre hembras y machos.

En lo que respecta al PC se puede observar que excepto el ciclo 4, los demás no observan diferencias significativas en la fase de pre-inicio hasta la fase de inicio, a partir de la fase de desarrollo las diferencias entre pesos entre los cuatro ciclos evaluados observan diferencias significativas ($P < 0.05$), donde el ciclo 4 mostró los



valores más altos, resultados similares se observan tanto en machos como en hembras.

Con relación a la GDP, de manera similar a PC, las fases de pre-inicio e inicio en los ciclos 1 a 3 no observan diferencias significativas, a excepción con el ciclo 4. En las fases de desarrollo y finalización, los ciclos 2 y 3 observaron los mayores valores, ambos ciclos son similares, pero diferentes a su vez de los ciclos 1 y 4. Este comportamiento es similar tanto en hembras como en machos.

La ICA de manera general se observan diferencias de conversión tanto en fases como entre ciclos. Asimismo, se aprecian diferencias tanto en hembras como en machos. La mayor eficiencia se observó en los machos durante el ciclo 4. En general, el ciclo que mostró la menor eficiencia fue el 1.

La respuesta de estos indicadores productivos parece relacionarse tanto con HIC como con TIC, dado que se observan diferencias entre los ciclos tanto en machos como en hembras. En el Cuadro 1, se observa que los ciclos 1 y 2, en general observaron menores valores en comparación con los ciclos 3 y 4, los mayores valores de HIC se observaron en las fases de desarrollo y finalización del ciclo 4, tanto en hembras como en machos.

Se encontró que, la TIC promedio fue diferente ($P < 0.05$) en cada una de las fases y semanas de producción en los ciclos analizados. Al respecto, la TIC durante la fase de pre-inicio, en el ciclo cuatro fue de $29.9 \pm 0.15^\circ\text{C}$ bajo una HIC de $33.5 \pm 0.58\%$; valores mayores ($P < 0.05$) a los registrados en el ciclo uno: $24.9 \pm 0.15^\circ\text{C}$ / $21.3 \pm 0.58\%$ de HIC (Cuadro 1). El Cuadro 2 muestra que la variabilidad en el PC del ave, en la fase de preinicio, se explica con tan solo dos componentes (77.3 %): el primer componente (temperatura-alimento) explicó el 43% de la variación total y se conformó por TIC, GDP (ambas positivas) y CA (en forma negativa). El segundo componente (humedad-mes) explicó el 34.4% de la variación total sólo HIC y el mes, cuyas contribuciones fueron positivas. Los valores de correlación entre TIC y HIC ($r = 0.47$) en la fase de pre-inicio sugiere que a mayor TIC la HIC se incrementa (Cuadro 3). Pero, tanto TIC como HIC se asociaron de manera negativa con CA: $r = -0.95$, para temperatura máxima (Tmax)-CA y $r = -0.23$, para HIC-CA. La asociación entre Tmax-GDP fue alta y positiva ($r = 0.85$), pero la asociación GDP-CA fue negativa ($r = -0.88$).

En la fase de inicio, el análisis de componentes principales determinó tres componentes explican 86% de la variabilidad del PC del ave (Cuadro 2). Humedad (máxima, promedio y mínima) fue el primer componente, con el 34.1% de la variación total. El segundo componente explicó el 32.3% de la variabilidad total y fue la temperatura (máxima, promedio y mínima), que en conjunto con el primer componente (humedad) explicaron el 66.4% de la variación total del PC del ave. El tercer componente se conformó únicamente por las variables GDP de manera negativa (-



0.99) y sexo de las aves de manera positiva (0.97), no obstante, dicho componente solo explicó el 19.7% de la variación total. En relación a las asociaciones entre las variables analizadas para la fase de inicio (Cuadro 3), la temperatura y la humedad tuvieron una asociación del 20% ($r = 0.20$). Sin embargo, la asociación entre TIC-GPD fue alta y negativa ($r = -0.59$); caso contrario a la HIC y GPD, la cual fue baja y positiva ($r = 0.14$). La correlación entre GPD y Sexo fue alta y negativa ($r = -0.77$).

En la fase de desarrollo se identificaron dos componentes que explicaron el 75% de la variación (Cuadro 2); el primero, conformado positivamente por la humedad (Hmin, HIC y Hmax) y mes de manera negativa, por la Tmax y CA, este componente explicó el 37.9% de la variación total del PC del ave. Lo cual corresponde al segundo componente, que se conformó por la temperatura y la GPD, lo cual explicó el 37.6% de la variación total.

A diferencia de la fase anterior, tanto los incrementos como decrementos de la humedad se correlacionaron de forma directa con temperatura: $r=0.99$ (Tmin-Hmax) y $r=-0.87$ (Tmax-Hmax) (Cuadro 3). De igual forma se encontraron correlaciones altas entre el HIC-CA ($r=-0.83$), Tmax-CA ($r=0.72$) y Tmin-CA ($r=-0.83$), la asociación entre humedad-GPD, observó una correlación positiva y alta ($r=0.53$); mientras que, la asociación entre las temperaturas-GPD, estas fueron: $r=-0.37$ (Tmax-GPD) y $r=0.56$ (Tmin-GPD-).

En la fase de finalización, según el análisis de componentes principales, las variables se agruparon en dos componentes. A diferencia de las fases anteriores, el primer componente explicó más de la mitad (55.1%) de la variación total. Este componente estuvo compuesto positivamente por humedad (mínima, promedio y máxima) y periodo de evaluación (mes), y negativamente por CA, Tmax y Tpromedio (Cuadro 2). El segundo componente se conformó por Tmin y GPD, ambas variables de forma positiva; el cual explicó el 18.4% de la variación total. De las variables mencionadas en el primer componente, destacaron las correlaciones entre HIC-TIC ($r=-0.86$), CA-Tmax ($r=0.94$) y CA- Hmax ($r=-0.99$) y, las correlaciones entre la Tmin-GPD ($r=0.62$) y, por último, la correlación entre la Hmax-GPD ($r=-0.16$) fue de forma negativa y baja (Cuadro 3).

La optimización de los valores TIC y HIC que de acuerdo a las ecuaciones obtenidas por el análisis de superficie de respuesta que fueron resueltas por el algoritmo GRG que maximizó el peso corporal semanal, se muestran en el Cuadro 5. Se puede observar el cambio de la relación entre los valores TIC y HIC en cada semana de edad, en donde se indica que a partir de la cuarta semana de edad la demanda de temperatura es menor, sin embargo, el valor de HIC tiene una correspondencia, en donde a temperaturas entre 25°C a 29.6°C requieren HIC entre 31% a 44%. Ya en la quinta semana, con temperaturas entre 14°C y 18°C, requieren HIC entre 50% a 64%,



lo que sugiere alcanzar valores óptimos de PC de 0.160, 0.395, 0.773, 1.263, 2.016 y 2.552 kg para las semanas 1, 2, 3, 4, 5 y 6, respectivamente.

Cuadro 1. Media de mínimos cuadrados para los indicadores productivos, temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta de acuerdo al ciclo y fase de producción

Ciclo de evaluación	Machos				Hembras			
	Fase de producción semanal				Fase de producción semanal			
	Preinicio 1 ^(D7)	Inicio 3 ^(D21)	Desarrollo 5 ^(D35)	Finalización 6 ^(D42)	Preinicio 1 ^(D7)	Inicio 3 ^(D21)	Desarrollo 5 ^(D35)	Finalización 6 ^(D42)
<i>Peso corporal (kg)</i>								
C.1	0.137 ^a	0.781 ^a	1.768 ^a	2.371 ^a	0.137 ^a	0.710 ^a	1.597 ^a	2.013 ^a
C.2	0.134 ^a	0.763 ^a	1.857 ^b	2.539 ^b	0.131 ^a	0.724 ^a	1.751 ^b	2.405 ^b
C.3	0.130 ^a	0.775 ^a	1.953 ^c	2.657 ^d	0.140 ^b	0.729 ^a	1.804 ^c	2.481 ^c
C.4	0.167 ^b	0.809 ^b	1.950 ^d	2.629 ^d	0.149 ^c	0.727 ^a	1.752 ^b	2.326 ^d
E.E.	0.021	0.012	0.011	0.009	0.021	0.012	0.011	0.009
<i>Ganancia diaria de peso (g)</i>								
C.1	14 ^a	60 ^a	85 ^a	86 ^a	14 ^a	49 ^a	78 ^a	60 ^a
C.2	14 ^a	56 ^a	93 ^b	97 ^b	13 ^a	54 ^b	84 ^b	93 ^b
C.3	13 ^a	58 ^a	95 ^b	100 ^b	14 ^a	53 ^b	84 ^b	97 ^b
C.4	18 ^b	53 ^b	88 ^a	87 ^c	15 ^a	51 ^a	79 ^a	82 ^c
E.E.	0.003	0.002	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001
<i>Conversión alimenticia (kg/kg)</i>								
C.1	1.680 ^a	1.597 ^a	1.597 ^a	2.019 ^a	1.146 ^a	1.410 ^a	1.865 ^a	2.348 ^a
C.2	1.568 ^b	1.503 ^a	1.503 ^b	1.815 ^b	1.077 ^b	1.334 ^b	1.675 ^b	1.916 ^b
C.3	1.772 ^c	1.500 ^a	1.500 ^b	1.755 ^c	1.100 ^b	1.389 ^b	1.679 ^b	1.883 ^c
C.4	1.190 ^d	1.375 ^b	1.375 ^c	1.663 ^c	0.933 ^c	1.328 ^b	1.621 ^b	1.885 ^c
E.E.	0.087	0.050	0.039	0.036	0.087	0.050	0.039	0.036
<i>Consumo de alimento (kg)*</i>								
C.1	0.157	1.194	3.199	4.931	0.157	1.130	2.978	4.484
C.2	0.152	1.077	3.151	4.839	0.141	1.039	2.933	4.389
C.3	0.156	1.102	3.253	4.996	0.154	1.016	3.028	4.355
C.4	0.148	1.044	3.050	4.688	0.139	0.965	2.939	4.087
E.E.	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Humedad de la caseta (%)</i>								
C.1	21.3 ^a	25.4 ^a	31.6 ^a	38.1 ^a	25.2 ^a	34.7 ^a	35.9 ^a	42.1 ^a
C.2	21.4 ^a	24.8 ^a	41.2 ^b	42.2 ^b	25.5 ^a	35.5 ^a	43.5 ^b	44.6 ^b
C.3	42.9 ^b	46.7 ^b	44.9 ^b	47.0 ^c	43.1 ^b	46.6 ^b	44.7 ^c	44.6 ^b
C.4	31.6 ^c	36.4 ^c	61.9 ^c	58.9 ^d	33.5 ^c	40.0 ^c	62.0 ^d	58.5 ^c
E.E.	0.58	0.33	0.26	0.24	0.58	0.33	0.26	0.24
<i>Temperatura de la caseta (°C)</i>								
C.1	24.4 ^a	23.0 ^a	23.0 ^a	22.2 ^a	24.9 ^a	24.1 ^a	22.6 ^a	22.2 ^a
C.2	26.9 ^b	26.6 ^b	24.3 ^b	23.5 ^b	29.2 ^b	28.0 ^b	24.7 ^b	23.4 ^b
C.3	26.6 ^c	25.5 ^c	23.9 ^c	21.9 ^a	26.5 ^c	26.3 ^c	24.2 ^c	21.8 ^c
C.4	29.4 ^d	25.4 ^c	23.4 ^d	20.9 ^c	29.8 ^d	25.6 ^d	23.8 ^d	21.4 ^d
E.E.	0.07	0.06	0.03	0.05	0.10	0.08	0.05	0.06

Literales ^{a, b, c, d} indican diferencia (P<0.05) dentro de columna por sexo; S.E.= Error estándar; *= Cálculo aproximado obtenido a través del consumo total de alimento ofrecido a los 26,000 pollos de engorda (50% machos y 50% hembras) por caseta y fase de producción.



Cuadro 2. Variables que conforman cada uno de los componentes principales en las fases de pre-inicio, inicio, desarrollo y finalización

Pre-inicio				
Componente	Variable	Valor de la Contribución	% Variación	Variación Total
I	TIC promedio	0.93	43.0	77.3
	Temperatura máxima	0.92		
	Consumo de alimento	-0.91		
	Temperatura mínima	0.89		
	Ganancia diaria de peso	0.84		
II	HIC promedio	0.99	34.4	
	Humedad mínima	0.99		
	Humedad máxima	0.99		
	Mes (periodo)	0.76		
Inicio				
Componente	Variable	Valor de la contribución	% Variación	Variación Total (%)
I	Humedad máxima	0.96	34.1	86.1
	HIC promedio	0.96		
	Humedad mínima	0.93		
	Mes	0.84		
II	TIC promedio	0.98	32.3	
	Temperatura máxima	0.97		
	Temperatura mínima	0.91		
III	Ganancia diaria de peso	-0.99	19.7	
	Sexo	0.97		
Desarrollo				
Componente	Variables	Valor de la contribución	% Variación	Variación total (%)
I	Temperatura máxima	-0.89	37.9	75.5
	Humedad máxima	0.87		
	Humedad media	0.84		
	Humedad mínima	0.80		
	Mes	0.71		
	Consumo de alimento	-0.71		
II	Temperatura media	0.92	37.6	
	Temperatura mínima	0.90		
	Ganancia diaria de peso	0.86		
	Mortalidad diaria	-0.73		
Finalización				
Componente	Variables	Valor de la contribución	% Variación	Variación Total (%)
I	Consumo de alimento	-0.98	55.1	73.5
	Temperatura máxima	-0.95		
	Humedad promedio	0.94		
	Mes	0.92		
	Humedad mínima	0.88		
	Temperatura promedio	-0.88		
	Humedad máxima	0.87		
II	Temperatura mínima	0.97	18.4	



Cuadro 3. Correlaciones de las variables transformadas dentro de los componentes principales en las fases de pre-inicio, inicio, desarrollo y finalización

Pre-inicio									
	Mes	GPD	Tmax	Tmin	TIC	Hmax	Hmin	HIC	CA
Mes	1								
GPD	0.90	1							
Tmax	0.96	0.85	1						
Tmin	0.81	0.65	0.93	1					
TIC	0.81	0.65	0.93	1.00	1				
Hmax	0.39	0.25	0.46	0.47	0.47	1			
Hmin	0.39	0.25	0.46	0.47	0.47	1.00	1		
HIC	0.39	0.25	0.46	0.47	0.47	1.00	1.00	1	
CA	-0.95	-0.88	-0.95	-0.84	-0.84	-0.23	-0.23	-0.23	1

Inicio									
	Mes	Sexo	GPD	Tmax	Tmin	TIC	Hmax	Hmin	HIC
Mes	1								
Sexo	0	1							
			-						
GPD	0.15	-0.78	1						
Tmax	0.97	0.11	-0.29	1					
Tmin	0.89	0.26	-0.40	0.91	1				
TIC	0.87	0.41	-0.59	0.92	0.96	1			
Hmax	0.38	0.08	0.16	0.29	0.24	0.20	1		
Hmin	0.33	0.01	0.15	0.25	0.21	0.17	0.99	1	
HIC	0.36	0.03	0.14	0.28	0.24	0.20	0.99	0.99	1

Desarrollo										
	Mes	GPD	Tmax	Tmin	TIC	Hmax	Hmin	HIC	Md	CA
Mes	1									
GPD	0.53	1								
Tmax	-0.85	-0.37	1							
Tmin	1.00	0.56	-0.82	1						
TIC	0.32	0.86	-0.01	0.36	1					
Hmax	0.98	0.39	-0.87	0.99	0.16	1				
Hmin	1.00	0.53	-0.85	0.95	0.32	0.98	1			
HIC	0.97	0.32	-0.79	0.96	0.16	0.99	0.97	1		
Md	-0.85	-0.51	0.68	-0.84	-0.30	-0.84	-0.85	-0.85	1	
CA	-0.83	-0.26	0.72	-0.83	-0.13	-0.85	-0.83	-0.83	0.45	1

Finalización									
	Mes	GPD	Tmax	Tmin	TIC	Hmax	Hmin	HIC	CA
Mes	1								
GPD	-0.14	1							
Tmax	-0.94	-0.10	1						
Tmin	-0.44	0.62	0.34	1					
TIC	-0.84	0.04	0.87	0.58	1				
Hmax	0.99	-0.16	-0.95	-0.44	-0.85	1			
Hmin	1.00	-0.17	-0.93	-0.43	-0.81	0.99	1		
HIC	0.98	-0.09	-0.97	-0.41	-0.86	1.00	0.99	1	
CA	-1.00	0.14	0.94	0.44	0.84	-0.99	-0.96	-0.98	1

Los resultados del análisis de superficie de respuesta (Cuadro 4) determinaron que, las variables que afectaron en mayor grado el desarrollo del pollo de engorda fueron las variables TIC ($P < 0.001$) y con tendencia HIC ($P = 0.06$). Así mismo, se observa que las primeras tres semanas de edad tienen un efecto negativo en el desarrollo del pollo, se pueden relacionar a una etapa de crecimiento lento, seguido por una etapa de crecimiento acelerado a partir de la semana 4 de edad. Al considerar la interacción de TIC con Semana se observa que esta relación es positiva en las semanas 1 a la 4, posteriormente es negativa, pero en el caso de la interacción de HIC con semana se observa un patrón invertido negativo en las tres primeras semanas de edad.

DISCUSIÓN

Los valores de PC óptimos en el pollo de engorda que fueron identificados por las ecuaciones polinómicas obtenidas en el análisis de superficie de respuesta estimadas para cada etapa de desarrollo del pollo de engorda, en donde se evidencian las superficies cuadráticas en las cuatro primeras semanas. [Sánchez-Chiprés et al. \(2021\)](#) indican que la temperatura ideal para el pollo de engorda está en el rango de los 18 a 21°C para las ganancias óptimas, sin embargo, también resaltan que la temperatura de confort térmico de las aves va cambia a medida que esta crece en función del desarrollo de su sistema termorregulador.



Cuadro 4. Coeficientes de los factores considerados para el diseño de la superficie de respuesta

Término	Efecto	Coef	EE del Coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		1.13304	0.00413	274.45	0.000	
TIC	-0.0838	-0.0419	0.0118	-3.56	0.000	5.00
HIC	-0.0192	-0.0096	0.00510	-1.88	0.060	1.82
Semana						
1	-2.00083	-1.00041	0.00775	-129.02	0.000	6.44
2	-1.49180	-0.74590	0.00712	-104.71	0.000	5.44
3	-0.73946	-0.36973	0.00614	-60.20	0.000	4.04
4	0.21773	0.10886	0.00575	18.94	0.000	3.54
5	1.35619	0.67809	0.00739	91.78	0.000	5.85
6	2.6582	1.3291	0.0112	118.94	0.000	*
TIC*TIC	-0.1862	-0.0931	0.0393	-2.37	0.018	13.57
HIC*HIC	-0.1667	-0.0833	0.0138	-6.02	0.000	5.24
TIC*HIC	-0.1408	-0.0704	0.0335	-2.10	0.036	8.57
TIC*Semana						
1	0.1996	0.0998	0.0370	2.70	0.007	25.48
2	0.0843	0.0422	0.0293	1.44	0.151	11.78
3	0.0256	0.0128	0.0247	0.52	0.604	7.90
4	0.3225	0.1613	0.0315	5.12	0.000	11.85
5	-0.3696	-0.1848	0.0358	-5.17	0.000	19.30
6	-0.2624	-0.1312	0.0467	-2.81	0.005	*
HIC*Semana						
1	-0.0763	-0.0381	0.0175	-2.18	0.029	7.41
2	-0.0685	-0.0342	0.0142	-2.41	0.016	4.03
3	-0.0933	-0.0467	0.0134	-3.49	0.000	3.18
4	0.1347	0.0673	0.0116	5.78	0.000	2.38
5	0.1170	0.0585	0.0160	3.66	0.000	6.99
6	-0.0136	-0.0068	0.0207	-0.33	0.743	*

Por lo que en los primeros días requieren una temperatura ambiental entre 30-33°C, después en la quinta semana la temperatura óptima es de 22°C y en la sexta semana dicha temperatura óptima esta entre 18-20°C. En el caso del presente estudio las temperaturas que se alcanzaron en las casetas se encuentran entre 1-2°C por arriba de los valores ya señalados como óptimos, sin embargo, los rangos de humedad en nuestro estudio se encontraban dentro de los valores que estos autores señalaban los límites mínimos y máximos ente 55 y 70%, respectivamente. [Cassuce et al. \(2013\)](#) realizaron un estudio con 600 aves COBB, las cuales fueron distribuidas en cinco cámaras de crecimiento mantenidas a diferentes temperaturas durante las primeras tres semanas de edad, con modelos lineales de regresión concluyen que las mayores ganancias de peso para el crecimiento del pollo de engorda son 31.3, 25.5 y 21.8 °C, para la primera, segunda y tercera semana de edad, respectivamente; así mismo estos autores señalan para el caso de climas templados se utilizan diversos rangos de temperatura consideradas como óptimas, pero para el caso de países con climas tropicales y subtropicales como es el caso de Brasil los rangos óptimos se consideran 33–32 °C para la primera semana, 32–28 °C para la segunda, 28–26 °C para la tercera, 26–24 °C para la cuarta, 18–24 °C para la quinta y 18–24 °C para la sexta semana de edad, en donde dichos valores son diferentes a los determinados como óptimos en nuestro trabajo (Cuadro 5).



Cuadro 5. Valores óptimos de TIC y HIC para el valor de máximo PC con las ecuaciones de regresión generadas por el análisis de superficie de respuesta para cada semana de edad de pollo de engorda

Semana	TIC (°C)*	HIC (%)*	PC (kg)*	Ecuación de regresión en unidades no codificadas por semana de edad
1	28.82	31.28	0.160	$-1.977 + 0.1228 \text{ TIC} + 0.02348 \text{ HIC} - 0.001886 \text{ TIC}^2 - 0.000168 \text{ HIC}^2 - 0.000450 \text{ TIC} \cdot \text{HIC}$
2	26.16	35.38	0.395	$-1.523 + 0.1146 \text{ TIC} + 0.02366 \text{ HIC} - 0.001886 \text{ TIC}^2 - 0.000168 \text{ HIC}^2 - 0.000450 \text{ TIC} \cdot \text{HIC}$
3	25.07	35.17	0.773	$-1.017 + 0.1104 \text{ TIC} + 0.02310 \text{ HIC} - 0.001886 \text{ TIC}^2 - 0.000168 \text{ HIC}^2 - 0.000450 \text{ TIC} \cdot \text{HIC}$
4	29.60	44.35	1.283	$-1.290 + 0.1316 \text{ TIC} + 0.02822 \text{ HIC} - 0.001886 \text{ TIC}^2 - 0.000168 \text{ HIC}^2 - 0.000450 \text{ TIC} \cdot \text{HIC}$
5	14.21	63.80	2.016	$0.544 + 0.0823 \text{ TIC} + 0.02783 \text{ HIC} - 0.001886 \text{ TIC}^2 - 0.000168 \text{ HIC}^2 - 0.000450 \text{ TIC} \cdot \text{HIC}$
6	17.85	50.17	2.552	$1.125 + 0.0899 \text{ TIC} + 0.02489 \text{ HIC} - 0.001886 \text{ TIC}^2 - 0.000168 \text{ HIC}^2 - 0.000450 \text{ TIC} \cdot \text{HIC}$

*Valores obtenidos por la optimización de las ecuaciones de regresión del análisis de superficie de respuesta con el algoritmo de GRG de Solver®

Ogunlowo *et al.* (2024) señalan que el rango óptimo de humedad relativa para los pollos después de la crianza es entre el 50% y el 70%. En este sentido, Jongbo (2024) resalta que los valores superiores al 75% puede inducir al estrés calórico en las aves. Los valores reportados como óptimos son superiores a los observados en el presente trabajo, así como los identificados como óptimos. En los resultados encontrados en la presente investigación, los mayores PC fueron en el ciclo cuatro, en donde la HIC aumento conforme incrementaba la edad de las aves: de 31% (fase de preinicio) a 62% (fase de desarrollo) y luego se mantuvo en 58% (fase de finalización). No obstante, la mayor GDP se encontró en el ciclo tres, en donde se registró una HIC casi constante durante las diferentes fases de producción (entre 42 y 46% de humedad).

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran una interacción significativa y no lineal entre la temperatura y la humedad relativa, se describe una relación cuadrática que permitió identificar valores óptimos para maximizar el peso corporal del pollo de engorda, dependientes de la edad de las aves. El análisis de superficie de respuesta permitió estimar combinaciones específicas de ambas variables ambientales bajo condiciones comerciales reales, se confirma que su ajuste conjunto explica una parte sustancial de la variabilidad productiva y constituye una herramienta aplicable para optimizar el manejo ambiental y el desempeño productivo en sistemas comerciales.

REFERENCIAS

ARANTES DE SOUSA LF, Pegoraro EL, Alves de Almeida E, Lunedo R, Furlan RL, Macari M. 2016. How heat stress (continuous or cyclical) interferes with nutrient digestibility, energy and nitrogen balances and performance in Broilers. *Livestock Science*. 192:39-43. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.0814.0>

AVIAGEN. 2022. Pollo de engorda ROSS 308 AP: objetivos de rendimiento. *Aviagen* EUA.

https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs-v2/RossxRoss308_BroilerPerformanceObjectives2022_ES.pdf



AYDAR AY. 2017. Utilization of response surface methodology in optimization of extraction of plant materials. In (Ed.), *Statistical Approaches With Emphasis on Design of Experiments Applied to Chemical Processes*. *IntechOpen*.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.73690>

CASSUCE D, Tinôco I, Baêta F, Zolnier S, Cecon P, Vieira MF. 2013. Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. *Engenharia Agrícola*. 33:28-36. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162013000100004>

COBB-VANTRESS, INC. 2022. Cobb500™ Pollo de Engorde: Suplemento informativo de rendimiento y nutrición. <https://www.cobbgenetics.com/assets/Cobb-Files/2022-Cobb500-Broiler-Performance-Nutrition-Supplement.pdf>

DESHAZER JA, Hahn GL, Xin H. 2009. Chapter 1: Basic Principles of the Thermal Environment and Livestock Energetics. In J.A. DeShazer (Ed.), *Livestock Energetics and Thermal Environmental Management*. 1-22. St. Joseph, Mich.: ASABE. ASABE # 801M0309. ISBN: 1-892769-74-3. <https://doi.org/10.13031/2013.28294>

HAI L, Rong D, Zhang ZY. 2000. The Effect of environment on the digestion of Broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 83:57-64.

<https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.2000.00223.x>

HASSAN FU, Alagawany M, Jha R. 2022. Editorial: Interplay of nutrition and genomics: Potential for improving performance and health of poultry. *Frontiers in Physiology*. 13:e1030995. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1030995>

JONGBO AO. 2024. Effects of sidewall opening areas on the performance of broiler chickens and the indoor climatic conditions of backyard poultry building. *Acta Scientiarum: Animal Sciences*. 46:1-8.

<https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v46i1.66396>

KHURI A. 2017. Response surface methodology and its applications in agricultural and food sciences. *Biometrics & Biostatistics International Journal*. 5(5):155-163.

<https://doi.org/10.15406/bbij.2017.05.00141>

LITTELL CR, Milliken AG, Stroup WW, Wolfinger DR, Schabenberger O. 2006. SAS® for Mixed Models. 2da edición. Cary, NC: SAS Institute Inc. Pp. 733-735.

<https://es.scribd.com/document/916775419/SAS-for-Mixed-Models-2nd-ed-Edition-Ramon-C-Littell-instant-access-2025>

LITTELL CR, Stroup WW, Freund JR. 2002. SAS® for Linear Models. Cuarta edición. Cary, NC: SAS Institute Inc. Pp. 191-194. <https://typeset.io/pdf/sas-for-linear-models-4xf4c34car.pdf>



MONTANERO FJ. 2008. Análisis multivariante. Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones. ISBN: 978-84-691-6343-6.

<https://dehesa.unex.es/entities/publication/5a590025-a7f4-4dd7-a986-b55874d4c071>

MONTGOMERY D. 2002. Diseño y análisis de experimentos. 2da edición. México: Editorial Limusa. ISBN: 968-18-6156-6.

https://www.researchgate.net/publication/362079778_Design_and_Analysis_of_Experiments_9th_Edition

MUZZAMMIL M, Javed A, Zakwan M. 2015. An optimization technique for estimation of rating curve parameters. Indian Association of Hydrologists (IAH), Roorkee. Symposium on Hydrology, 22-23 diciembre 2015, Nueva Delhi, India. Pp. 234–240.

https://www.researchgate.net/publication/305767208_AN_OPTIMIZATION_TECHNIQUE_FOR_ESTIMATION_OF_RATING_CURVE_PARAMETERS

NILIPOUR A. 2012. Pollo moderno- cómo obtener el máximo rendimiento- Desafío, oportunidades y metas. <http://www.engormix.com/MA-avicultura/manejo/articulos/pollo-moderno-como-obtener-t4082/124-p0.htm>

OGUNLOWO QO, Adedayo AA, Wook HN, Anis R, Misbaudeen AA, Ezatullah Z, John AA, Bukola OA, Kosemani BS, Ilori TA, Lee HW. 2024. Analysis of microclimate temperature and relative humidity distribution of local poultry house in a subtropical area of Nigeria. *Journal of Agricultural Engineering*. 55(2):e1561.

<https://doi.org/10.4081/jae.2024.1561>

OMOMOWO O, Falayi F. 2021. Temperature-humidity index and thermal comfort of broilers in humid tropics. *Agricultural Engineering International: The CIGR e-journal*. 23:101-110. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/6425/3677>

PISHGAR-KOMLEH S, Keyhani A, Mostofi-Sarkari M, Jafari A. 2012. Application of response surface methodology for optimization of picker-husker harvesting losses in corn seed. *Iranica Journal of Energy & Environment*. 3(2):e64390.

https://www.ijee.net/article_64390.html

QUINTANA LJA. 2020. Manejo del pollo de engorda durante su primera semana de vida. *Avicultores y su Entorno*. BM Editores. Año 20, n.º 122.

<https://bmeditores.mx/avicultura/manejo-del-pollo-de-engorda-durante-su-primera-semana-de-vida/>

SÁNCHEZ-CHIPRÉS DR, Valera-Rojas M, Casasola-Torres RA, Gutiérrez-Borroto O, Mireles-Flores S. 2021. Atenuación del estrés calórico en pollos con la suplementación de un producto de cromo orgánico. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*. 13(1):e792. <https://doi.org/10.24188/recia.v13.n1.2021.792>



SONG Z, Liu L, Sheikhahmadi A, Jiao H, Lin H. 2012. Effect of heat exposure on gene expression of feed intake regulatory peptides in laying hens. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. 2012, e484869. <https://doi.org/10.1155/2012/484869>

TAHERI A, Kenari AA, Motamedzadegan A, Habibi-Rezaei M. 2011. Poultry by-products and enzymatic hydrolysis: optimization by response surface methodology using alcalase® 2.4L. *International Journal of Food Engineering*. 7(5):e1969. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1969>

TAO X, Xin H. 2003. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. *Transactions of the ASAE*. 46:e12971. <https://doi.org/10.13031/2013.12971>

TORRES V, Ramos N, Lizazo D, Monteagudo F, Noda A. 2001. Modelo estadístico para la medición del impacto de la innovación o transferencia tecnológica en la rama agropecuaria. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 42(2):133-139. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015494003>

WILLIAMS Y, Basitereb M, Ntwampea SKO, Ngonganga M, Njoyaa M, Kaskotea E. 2019. Application of response surface methodology to optimize the COD removal efficiency of an EGSB reactor treating poultry slaughterhouse wastewater. *Water Practice and Technology*. 14(3):507-514. <https://doi.org/10.2166/wpt.2019.032>

[Errata Erratum](#)

<https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario/errata>