



INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y
FORESTALES

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA CON OPCIÓN TERMINAL EN LAS
ÁREAS AGRÍCOLA, PECUARIA, FORESTAL,
ACUÍCOLA O AGRONEGOCIOS

“LIMITANTES DEL POTENCIAL GENÉTICO DEL POLLO DE
ENGORDA (*Broiler*) EN CONDICIONES COMERCIALES,
DETERMINADAS BAJO LA METODOLOGÍA DE LA RUTA
CRÍTICA”

TESIS

Que presenta:

MVZ. Carlos Alberto Luna Espinosa

Como requisito para obtener el grado de

MAESTRO EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO. SEPTIEMBRE DE 2017



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
Cuna de héroes, crisol de pensadores



INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y
FORESTALES

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA CON OPCIÓN TERMINAL EN LAS
ÁREAS AGRÍCOLA, PECUARIA, FORESTAL,
ACUÍCOLA O AGRONEGOCIOS

TESIS

“LIMITANTES DEL POTENCIAL GENÉTICO DEL POLLO DE
ENGORDA (*Broiler*) EN CONDICIONES COMERCIALES,
DETERMINADAS BAJO LA METODOLOGÍA DE LA RUTA
CRÍTICA”

Que presenta para obtener el grado de Maestro en Producción Agropecuaria:

MVZ. Carlos Alberto Luna Espinosa

DIRECTOR

Dr. En biotecnología microbiana Aureliano Juárez Caratachea

CO-DIRECTOR

Maestro en Ciencias Ruy Ortiz Rodríguez

COMITE TUTORAL

Dra. Ernestina Gutiérrez Vázquez

Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez

Dr. Daniel Val Arreola

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO. SEPTIEMBRE DE 2017



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
Cuna de héroes, crisol de pensadores

Dedicatoria

A mis padres Raúl de Jesús Luna Peñaloza y Virginia Espinosa Alducin

*A los cuales externo mi cariño y agradecimiento por su confianza,
consejos y apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida*

Gracias por todo

*“Lo poco que he aprendido carece de valor, comparado con lo que ignoro y no
desespero en aprender.”*

René Descartes

Agradecimientos

Externo mi agradecimiento a las instituciones que fueron parte fundamental para la realización de este trabajo de tesis, entre ellas:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el apoyo brindado al facilitar sus instalaciones para el desarrollo experimental del trabajo de investigación.

Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) por haber brindado la oportunidad de continuar con mi preparación profesional.

Así mismo, al cuerpo tutorial que me acompañó durante el proceso y desarrollo del trabajo de investigación:

Al MC. Ruy Ortiz Rodríguez por todo su apoyo, consejos, enseñanzas y sobre todo por su paciencia a lo largo éste proceso.

Al Dr. Aureliano Juárez Caratachea por brindarme su confianza y la oportunidad de continuar con mi preparación profesional.

A la Dra. Ernestina Gutiérrez Vázquez por sus enseñanzas, comentarios y aportaciones para enriquecer el presente trabajo.

Al Dr. Daniel Val Arreola por sus consejos, orientación y apoyo brindado para la culminación del presente trabajo de tesis.

Al Dr. Christian Marc Lobit Philippe por sus observaciones y consejos aportados para la realización el presente trabajo.

A la Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez por sus consejos, su apoyo y motivación al realizar el trabajo de investigación.

A todos ellos, no solo agradezco las aportaciones al presente trabajo; también agradezco la amistad brindada a lo largo de mi formación profesional. Y no me queda más que decirles... Gracias.

ÍNDICE

	Pág.
Resumen	i
Abstract	ii
1. Introducción	1
2. Antecedentes	4
2.1 Estrategias para la máxima expresión del potencial genético del pollo de engorda	4
2.1.1 <i>Estrategias Alimenticias</i>	4
2.1.2. <i>Control de la densidad de la población animal dentro de las casetas</i>	6
2.1.3 <i>Control de temperatura y humedad dentro de las casetas</i>	7
2.1.4 <i>Implementación de aditivos no farmacológicos en la dieta de los pollos de engorda</i>	8
2.2. Variabilidad del consumo de alimento y del peso final del pollo de engorda bajo condiciones de producción comercial	9
2.3. Metodologías para detectar la variabilidad en los procesos parciales de producción de pollo de engorda	10
3. Planteamiento del problema	12
4. Hipótesis	13
5. Objetivo general	13
6. Objetivos específicos	13
7. Materiales y Métodos	14
8. Resultados	18
8.1 <i>Fase de pre-inicio</i>	19
8.2 <i>Fase de inicio</i>	24
8.3 <i>Fase de desarrollo</i>	30
8.4 <i>Fase de finalización</i>	35
9. Discusión	39
10. Conclusión	50
11. Bibliografía	51

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ingredientes y composición de las dietas de cada una de las fases productivas	14
Tabla 2. Composición de AA´s totales (%/kg) de las dietas de cada una de las fases productivas	15
Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados de los indicadores productivos del pollo de engorda (<i>Broiler</i>) de acuerdo con el ciclo de producción a los 42 días de edad	19
Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para peso corporal (kg) durante la fase de pre-inicio de acuerdo al sexo y ciclo de producción	20
Tabla 5. Variables que conforman cada uno de los componentes principales durante la fase de pre-inicio	20
Tabla 6. Temperatura (TIC), humedad (HIC), consumo (kg)* y conversión* (kg/kg) de alimento durante la fase de pre-inicio de acuerdo al sexo, semana y ciclo de producción	21
Tabla 7. Análisis de varianza para la variable de respuesta Peso corporal	23
Tabla 8. Valores de optimización de respuesta para peso corporal (PC) en relación a la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna en casetas para machos y hembras durante la fase de pre-inicio	24
Tabla 9. Medias de mínimos cuadrados para el peso corporal (kg) durante la fase de inicio de acuerdo al sexo y ciclo de producción	25
Tabla 10. Variables que conforman cada uno de los componentes principales durante la fase de inicio	26
Tabla 11. Temperatura (TIC), humedad (HIC), consumo (kg)* y conversión* (kg/kg) de alimento durante la fase de inicio de acuerdo al sexo, semana y ciclo de producción	27
Tabla 12. Valores de optimización de respuesta para peso corporal (PC) en relación a la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna en casetas para machos y hembras durante la fase de inicio	29
Tabla 13. Media de mínimos cuadrados para peso corporal (kg) durante la fase de desarrollo de acuerdo al sexo y ciclo de producción	30
Tabla 14. Variables que conforman cada uno de los componentes principales durante la fase de desarrollo	31
Tabla 15. Temperatura (TIC), Humedad (HIC), consumo (kg)* y conversión* (kg/kg) de alimento durante la fase de desarrollo de acuerdo al sexo, semana y ciclo de producción	32

Tabla 16. Valores de optimización de respuesta para peso corporal (PC) en relación a la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna en casetas para machos y hembras durante la fase de desarrollo	34
Tabla 17. Media de mínimos cuadrados para peso corporal (kg) durante la fase de finalización de acuerdo al sexo y ciclo de producción	35
Tabla 18. Variables que conforman cada uno de los componentes principales durante la fase de finalización	35
Tabla 19. Temperatura (TIC), Humedad (HIC), consumo (kg)* y conversión* (kg/kg) de alimento durante la fase de finalización de acuerdo al sexo, semana y ciclo de producción	36
Tabla 20. Valores de optimización de respuesta para peso corporal (PC) en relación a la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna en casetas para machos y hembras durante la fase de finalización	38

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distribución de la toma de lecturas de temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta en el sistema de producción	16
Figura 2. Medias de mínimos cuadrados del promedio general de la temperatura (°C) y humedad (%) interna de caseta de acuerdo al ciclo de producción, independientemente del sexo	18
Figura 3. Temperatura (°C) y humedad (%) interna de caseta, durante la fase de pre-inicio, de acuerdo al ciclo de producción y sexo: Machos (Figura A) y Hembras (Figura B)	22
Figura 4. Diagrama biespacial de las variables que conforman los componentes principales durante la fase de pre-inicio	22
Figura 5. Superficie de respuesta estimada para el peso corporal (PC), independientemente del sexo, en relación con la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta durante la fase de pre-inicio (Semana uno)	24
Figura 6. Temperatura (°C) y humedad (%) interna de caseta, durante la fase de Inicio, de acuerdo al ciclo de producción y sexo: Machos (Figura A) y Hembras (Figura B)	26
Figura 7. Diagrama biespacial de las variables que conforman los componentes principales durante la fase de inicio	28
Figura 8. Superficie de respuesta estimada para el peso corporal (PC), independientemente del sexo, en relación al efecto de temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta, durante la fase de inicio (Semana dos y tres)	28

Figura 9. Temperatura (°C) y humedad (%) interna de caseta, durante la fase de desarrollo, de acuerdo con el ciclo y sexo: Machos (Figura A) y Hembras (Figura B)	33
Figura 10. Diagrama biespacial de las variables que conforman los componentes principales para la fase de desarrollo	33
Figura 11. Superficie de respuesta estimada para el peso corporal (PC), independientemente del sexo, en relación al efecto Temperatura (TIC) y Humedad (HIC) interna de caseta durante la fase de Desarrollo (Semana cuatro y cinco)	34
Figura 12. Temperatura (°C) y humedad (%) interna de caseta, durante la fase de finalización, de acuerdo con el ciclo y sexo: Machos (Figura A) y Hembras (Figura B)	37
Figura 13. Diagrama biespacial de las variables que conforman los componentes principales para la fase de finalización	37
Figura 14. Superficie de respuesta estimada para el peso corporal (PC), independientemente del sexo, en relación al efecto temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta durante la fase de finalización (semana seis)	38
Figura 15. Esquema de los procesos de producción de acuerdo con la etapa de crecimiento del pollo de engorda	39
Figura 16. Esquema del efecto del manejo de cortinas y criadoras a gas para controlar la temperatura (°C) y humedad (%) dentro de la caseta sobre el peso final del pollito en la fase de pre-inicio	42
Figura 17. Esquemas del proceso productivo bajo condiciones ambientales óptimas para la expresión del potencial genético del pollo de engorda (Machos)	43
Figura 18. Esquemas del proceso productivo bajo condiciones ambientales óptimas para la expresión del potencial genético del pollo de engorda (Hembras).	44
Figura 19. Esquema del efecto del manejo de cortinas y criadoras a gas para controlar la temperatura (°C) y humedad (%) dentro de la caseta sobre el peso final del pollito en la fase de inicio	46
Figura 20. Esquema del efecto del manejo de cortinas y criadoras a gas para controlar la temperatura	47
Figura 21. Esquema del efecto del manejo de cortinas y criadoras a gas para controlar la temperatura (°C) y humedad (%) dentro de la caseta sobre el peso final del pollito en la fase de finalización	49

RESUMEN

El objetivo fue establecer las limitantes del potencial genético del pollo de engorda en condiciones comerciales, bajo la metodología de la ruta crítica. Para ello, se recopiló la información de cuatro ciclos (42 días ciclo⁻¹) productivos de pollo de engorda durante un periodo de 10 meses. Se utilizaron 26,000 aves ciclo⁻¹ (50% machos y 50% hembras ciclo⁻¹) separados por sexo y bajo una densidad de 10 pollos/m². El alimento y agua fueron proporcionados *ad libitum* en cada una de las fases de producción: pre-inicio, inicio, desarrollo y finalización. En cada ciclo se analizó: temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta, Peso corporal (PC) ave⁻¹ semana⁻¹, Ganancia de peso diaria (GPD), Consumo de alimento fase⁻¹ (CA) y Mortalidad diaria (Md). Todas las variables productivas se obtuvieron a partir de una muestra de 120 pollos semana⁻¹ ciclo⁻¹ (40 aves área⁻¹; 3 áreas). El registro de TIC se realizó en cuatro áreas dentro de la caseta de producción: en tres áreas se monitoreo diariamente (d⁻¹) TIC con un termómetro laser (precisión $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) y en la cuarta área (centro de la caseta) se colocó un termohigrómetro digital para el registro de TIC y HIC. El PC se obtuvo con una báscula con capacidad de 5.0 ± 0.001 kg. El CA fase⁻¹, se calculó con relación al total de alimento proporcionado por fase⁻¹, menos el sobrante al final de la fase y se dividió entre las aves vivas al momento del cálculo. La mortalidad (%) se registró d⁻¹ a lo largo de cada ciclo. La información recopilada se analizó estadísticamente bajo las siguientes metodologías: modelos de efectos fijos, componentes principales (el criterio de selección fue $\lambda \geq 1$) y, análisis de superficie de respuesta (Box-Behnken con 2 factores). Se encontró que, el PC del pollito al ingresar al sistema (fase de pre-inicio) osciló entre 38 y 42g, ello dependiendo del ciclo. Esta variabilidad (al analizar los resultados entre ciclos) de la materia prima (PC del pollito) al iniciar el proceso de producción generó heterogeneidad del PC del ave durante y al final de la fase de pre-inicio (132 a 158 g) y, en el ciclo cuatro, se encontró la mayor expresión del potencial genético de los pollitos (0.158kg); dicho potencial se expresó bajo TIC/HIC de 29.4°C/29.8%, condiciones ambientales que provocaron mayor ($P < 0.05$) CA (149 g ave⁻¹) y GPD (16 g ave⁻¹), durante la fase de pre-inicio. Pero, en la fase de inicio, el CA (kg), ICA (kg/kg) y GDP (g ave⁻¹) fueron menores ($P < 0.05$) en el ciclo cuatro, tanto en machos (1.044 kg, 1.375 kg/kg y 53 g ave⁻¹, respectivamente) como en hembras (0.965 kg, 1.328 kg/kg y 51 g ave⁻¹, respectivamente). En esta fase y ciclo predominó una TIC cercana a 25.9°C y HIC de 34.2%. No obstante, el PC al final de la fase de inicio (ciclo cuatro) fue mayor ($P < 0.05$), específicamente en machos (809 g ave⁻¹); ya que el PC de las hembras (727 g) fue similar ($P < 0.05$) en todos los ciclos evaluados. Para la fase de desarrollo, se encontró que, el CA, GPD y PC final de las aves fueron mayores ($P < 0.05$) en el ciclo tres: 3.269 kg, 0.082 kg y 1.879 kg, respectivamente; ciclo en el cual la TIC promedio fue de 25.5°C con una humedad del 45%. En la última fase (finalización) se encontró que, el ciclo tres continuó manifestando la máxima expresión del potencial (PC) de las aves (2.657 kg para machos y 2.481 kg para hembras) y en donde la TIC fue de 22°C con humedades del 45%; variables ambientales que permitieron un mejor comportamiento de GPD (99 g). En el ciclo cuatro, el PC final (2.477 kg) fue menor, a pesar de que, en dicho ciclo, la materia prima (PC del pollito de 41 g) fue de mejor calidad que en resto de los ciclos evaluados. Los puntos críticos durante el proceso de producción en este sistema fueron: a) materia prima (Pollito de 1 día de edad) con diferente nivel de calidad (PC variable) al inicio del ciclo de producción; b) ineficiente control de TIC y HIC y, c) no hay retroalimentación por fase ni por ciclo. Finalmente, los resultados del análisis de la superficie de respuesta predijeron que, independientemente del sexo, la óptima expresión del potencial genético de las aves (PC) se obtiene bajo TIC/HIC de: 30°C/40%, 26°C/36%, 22°C/52% y 20°C/50%, para las etapas de pre-inicio, inicio, desarrollo y finalización, respectivamente.

Palabras Clave: Producción de carne, avicultura, tecnología, manejo, proteína animal.

ABSTRACT

The objective was to establish the limitations of the genetic potential of the broiler in commercial terms, under the methodology of the critical route. For it, the information was collected of four cycles (42 days cycle⁻¹) productives of broiler during a period of 10 months. They were used 26,000 birds cycle⁻¹ (50% male and 50% female cycle⁻¹) separated by sex and under a density of 10 chickens/m². Feed and water were provided *ad libitum* in each phases of production: pre-start, start, development and finalization. In each cycle was analyzed: temperature (ITS) and humidity (IHS) internal of shed, body weight (BW) bird⁻¹ week⁻¹, daily weight gain (DWG), feed intake phase⁻¹ (FI) and daily mortality (DM). All variable productives were obtained from a sample of 120 chickens week⁻¹ cycle⁻¹ (40 birds area⁻¹; 3 areas). Registration of ITS was performed in four areas within of the production shed: in three areas were monitoring daily (d⁻¹) ITS with a laser thermometer (precision ±0.1°C) and in the fourth area (center of the shed) was placed a digital thermo-hygrometer for the registered ITS and IHS. The BW was obtained with a scale with capacity of 5.0±0.001 kg. FI phase⁻¹, was calculated in relation to the total of feed provided by phase⁻¹, less the rejection at the end of the phase and divided between live birds at the time of the calculation. Mortality (%) was registered d⁻¹ throughout each cycle. Collected data were statistically analyzed under the following methodologies: models of fixed effects, main components (the selection criterion was $\lambda \geq 1$) and analysis of response (Box-Behnken with 2-factor) surface. Found that, BW the chick to upon entering the system (pre-start phase) ranged between 38 and 42g, this depending the cycle. This variability (to analyze the results between cycles) of the raw material (BW the chick) to start the production process generated heterogeneity of the BW of the bird during and at the end of the phase pre-start (132-158 g) and in the four cycle, found the greater expression of the genetic potential of chicks (0.158 kg); this potential it was expressed under ITS/IHS 29.4°C/29.8%, environmental conditions that caused greater (P<0.05) FI (149 g bird⁻¹) and DWG (16 g bird⁻¹), during the pre-start phase. But, in the start phase, FI (kg), feed conversion index (FCI) (kg/kg) and DWG (g bird⁻¹) were lower (P<0.05) in the cycle four, both in males (1,044 kg, 1,375 kg/kg and 53 g bird⁻¹, respectively) as females (0.965 kg, 1.328 kg/kg and 51 g bird⁻¹, respectively). In this phase and cycle predominated a ITS nearby to 25.9°C and IHS of 34.2%. However, the BW to the end of the start phase (four cycle) was higher (P < 0.05), specifically in males (809 g bird⁻¹); Since the BW of females (727 g) was similar (P<0.05) at all evaluated cycles For the development phase, was found, FI, DWG and final BW of the birds were greater (P<0.05) in the cycle three: 3.269 kg, 0.082 kg and 1.879 kg, respectively; cycle in which the average ITS was 25.5°C with a humidity of 45%. In the last phase (finalization) was found that, the cycle three continued stating the maximum expression of the potential (BW) birds (2,657 kg for males and 2,481 kg for females) and where the ITS was 22°C with humidity of 45%; environmental variables which allowed a better performance of DWG (99 g). In the cycle four, BW final (2.477 kg) was lower, despite in that cycle the raw material (Chick's BW 41g) it was of better quality than in rest of the evaluated cycles. Critical points during the production process in this system were: a) raw mater (chick 1 day-old) with different levels of quality (BW variable) at beginning of the production cycle; b) inefficient control of ITS and IHS, c) there is no feedback by phase or cycle. Finally, the results of the analysis of the surface response predicted that, regardless of the sex, the optimal expression of the genetic potential of birds (BW) is obtained under ITS/IHS: 30°C/40%, 26°C/36%, 22°C/52% and 20°C/50%, for the stages of pre-start, start, development and finalization, respectively.

1. Introducción

Las expectativas del crecimiento demográfico, a nivel mundial, plantean un acelerado incremento de la población (11 mil millones de personas en el año 2050); y la oferta de proteína animal debe igualarse en proporción a dicho crecimiento (Hardiman, 2005). La industria avícola es considerada como parte de la solución. Ello debido, a los avances en la genética y estrategias de producción de las aves, que posiciona como uno de los sectores de mayor importancia en la producción de proteína animal (Sánchez y Rosales, 2004).

Actualmente, el crecimiento de la avicultura (4.3% anualmente) en México lo posiciona en el tercer lugar en América; y cuya participación en la producción pecuaria a nivel nacional es del 63%; dicha producción incluye carne y huevo (FIRA, 2015). En cuanto a la producción de pollo de engorda, este sector aporta 34% a la producción nacional de carne, tan solo en el año 2013 se generaron tres millones de toneladas de carne de pollo (UNA, 2014). Este crecimiento, se puede enmarcar a principio del siglo XXI debido a la generación de una serie de conocimientos sobre la avicultura, específicamente en las áreas de la genética, nutrición, sanidad, personal e instalaciones (Mckay, 2011; Nilipour, 2012). No obstante, la industria del pollo de engorda (*Broiler*) (Dottavio y Di Masso, 2010) no está exenta del continuo perfeccionamiento de los procesos de producción y ello obliga a genetistas, nutriólogos y zootecnistas a investigar nuevas estrategias tecnológicas para el desarrollo de estirpes y líneas que satisfagan las características específicas que demanda el comercio global (Mann y Aguirre, 2002).

Respecto al desarrollo de estirpes y líneas para la avicultura, este es sustentado aproximadamente por veinte empresas a nivel mundial, encargadas de producir diferentes poblaciones de aves mejoradas genéticamente (líneas) cuya finalidad es la producción de materia prima para la industria del pollo de engorda (Leeson y Summers, 2000). Sin embargo, el potencial genético de los pollitos (originados de dichas poblaciones) bajo condiciones de producción comercial puede verse limitado debido a las características y condiciones de los componentes presentes en cada sistema, en donde las aves (pollitos recién nacidos) se desarrollarán; dichos componentes, de manera general, son el componente técnico (técnicas y tecnologías) y el componente humano (personal) (Juárez *et al*, 2008).

Bajo condiciones experimentales (estricto control de variables) se estima que, en 42 días, post-nacimiento el pollo de engorda logra 2.700 kg de peso vivo y para ello, debe consumir 4.600 kg de alimento (1.7:1kg/kg) es decir requiere el logro de una conversión alimenticia de 1.7:1kg/kg (Cobb, 2012; Ross 2012). Para lograr este potencial genético de los pollos de engorda, bajo condiciones comerciales, se recurre, frecuentemente, al uso de antibióticos, como promotores del crecimiento (Ravindran, 2010), enzimas de degradación (Dale, 2009), prebióticos, probióticos y simbióticos (Reig y Blanco, 2002), técnicas alimenticias (Cortés *et al.*, 2006; Santiago *et al.*, 2011) y/o, modificaciones en la infraestructura para controlar el ambiente (Fairchild, 2014). De aquí que; el potencial productivo de este tipo de aves no siempre se logre cuando este es sometido a las condiciones de producción del sistema comercial (Arce *et al.*, 2005; Popocatl, 2013; Servin *et al.*, 2013), en donde se ha observado una variabilidad tanto en el peso final como en la conversión alimenticia: 2.396 a 2.980kg de peso vivo, para ciclos de 42 y 49 días, respectivamente y, con conversiones de 2.1 y 2.2 kg/kg, respectivamente.

La variabilidad del peso final del pollo y de la conversión alimenticia bajo condiciones de producción comercial son el reflejo de los problemas ambientales de este tipo de sistemas y obedecen a la magnitud del intercambio de energía entre el ambiente y el ave, característica que convierte a estos sistemas en altamente dinámicos y complejos (Estrada y Márquez, 2005; Gómez *et al.*, 2011). Bajo esta premisa, predecir el comportamiento futuro del ave, bajo condiciones comerciales, resulta difícil por la complejidad de las diversas interacciones entre los componentes hombre-ave-tecnología; de aquí que se reporten diversas soluciones para que se exprese el potencial genético del pollo de engorda, bajo condiciones comerciales; soluciones que han mostrado una eficacia temporal (Gleick, 2012).

Dentro de los componentes mencionados en el párrafo anterior, el componente humano es el que con mayor frecuencia pone en desequilibrio al sistema y en consecuencia produce la variabilidad de la expresión del potencial genético de los pollos de engorda, debido principalmente, a la ausencia de objetivos y planificación de cada uno de los procesos productivos, aunado a ello, a la falta de control o pericia para controlar los factores ambientales (Herrera *et al.*, 2007) así, por ejemplo, al incrementarse el ciclo productivo del pollo de engorda provocado por una deficiente alimentación, misma que se ve reflejada en una mayor conversión alimenticia, afecta directamente la rentabilidad productiva; ya que, el alimento y el material

biológico (pollito) representan el 80% de la inversión total del ciclo de producción (UNA, 2011). Inversión que motiva a los productores a alcanzar la máxima eficiencia productiva del pollo de engorda (Estrada y Márquez, 2005).

Para estabilizar (disminuir la variabilidad) el sistema de producción de pollos de engorda a nivel comercial primero se debe determinar la causa o causas de la variabilidad, para posteriormente controlarla (Fernández, 2009) este principio puede abordarse a través del “método de la ruta crítica”; el cual es un proceso de organización, dirección y control de todas y cada una de las actividades que componen un proceso productivo (Andrade, 2012). Para fines del presente trabajo de investigación, este método fue modificado; puesto que los resultados establecieron variabilidad en cada una de las fases de producción por las que transita el pollo de engorda y, el resultado final en cada fase productiva es la expresión de la dirección y control de todas y cada una de las actividades que componen cada fase productiva del sistema de producción (Knoke y Garza, 2003; Rivera y Durán, 2004). En este sentido el análisis de los resultados por fase permite identificar los elementos que modifican o limiten el objetivo de esta, a su vez, permite establecer la optimización de los recursos en cada una de las fases productivas del propio sistema (Knoke y Garza, 2003; Rivera y Durán, 2004). En este sentido, la metodología de la ruta crítica sigue los principios que rigen a la teoría general de los sistemas TGS: i) para el estudio de un sistema se deben determinar los componentes que lo estructuran, ii) desarticular al sistema de acuerdo con sus componentes y estudiar cada componente por separado y iii) rearmar el sistema; ello permite conocer el sistema, repararlo o crear uno nuevo (Ortiz *et al.*, 2015).

De acuerdo con los principios de la TGS, citados en el párrafo anterior, se puede conocer no solo el porqué de la variabilidad del componente biológico (pollo de engorda) cuando se somete a condiciones de producción comercial, sino además, establecer el o los puntos críticos a lo largo del proceso de producción y establecer la solución para obtener la mayor eficiencia productiva posible del propio sistema. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue establecer la ruta crítica en la producción de pollo de engorda que limita la expresión del potencial genético de estas aves bajo condiciones comerciales.

2. Antecedentes

En particular, la actividad pecuaria durante las últimas dos décadas ha mantenido un crecimiento sostenido (UNA 2014). Aspecto que incluye a la avicultura en México, a tal grado que desplazó a la carne de cerdo y de bovino de las preferencias del consumidor de productos cárnicos, debido a su bajo valor económico y a su disponibilidad en el mercado nacional; Al respecto el consumo per cápita de carne de pollo en el país es de 29.3kg (FIRA, 2015).

Actualmente, en América, México sustenta el tercer lugar en producción avícola; debido al crecimiento anual en la producción de pollo: 3.3% durante el periodo 2000-2015, lo que representa el 34% de la producción pecuaria nacional dicho crecimiento y accesibilidad económica de este tipo de carne se sustenta principalmente en el mejoramiento genético de las aves, así como, a estrategias de producción que aceleran y economizan la producción (Sánchez y Rosales, 2004). No obstante, la industria del pollo de engorda, no está exenta a las exigencias que demanda el comercio global (Chaves, 2001); por lo tanto, la mejora en cada uno de los procesos de producción por los que transita esta especie es esencial para mantener una competitividad a nivel nacional e internacional (Mann y Aguirre, 2002).

2.1 Estrategias para la máxima expresión del potencial genético del pollo de engorda

Los sistemas de producción de proteína animal no están exentos del continuo perfeccionamiento, lo cual obliga a la industria a buscar estrategias para mejorar y maximizar los recursos presentes (Ravindran, 2010; Dale, 2009). En México, las líneas de pollo a nivel comercial expresarán o no su potencial genético de acuerdo con las condiciones de infraestructura, nutrición, sanidad y del personal presente en cada sistema (Juárez *et al.*, 2008). Sin embargo, para lograr dicho potencial genético es frecuente que se recurra a diversas estrategias, para promover el crecimiento de las aves (Reig y Blanco, 2002; Cortés *et al.*, 2006; Santiago *et al.*, 2011; Fairchild, 2014). Entre las principales estrategias se destacan las siguientes:

2.1.1 Estrategias Alimenticias: El potencial de crecimiento de las líneas de pollo de engorda actuales es resultado de la selección genética (Pesti, 2009); y de los avances en la nutrición (Santiago *et al.*, 2011). Mismos que por separado o en unión generan los mayores costos de producción. Tan solo el proceso de alimentación representa entre 70 y 80% de dichos

costos (UNA, 2011). Esto sugiere, que la manipulación de la alimentación con fines de disminución de los costos de producción representaría una alternativa para aumentar la rentabilidad del sector (Lesson, 2007; Fuente *et al.*, 2012). Cancherini *et al.* (2005) y Wijtten *et al.* (2015) sugieren que la energía y los aminoácidos son los principales factores limitantes en la dieta de las aves, los cuales determinan los costos de alimentación y el rendimiento en la industria avícola. Aunado a esto, la producción de grano, a nivel mundial, ha disminuido por problemas relacionados con el cambio climático, lo cual ha incrementado el costo de las materias primas para la alimentación animal (Shigechi *et al.*, 2004; Doppenberg y Van der Aar, 2007; Savón *et al.*, 2008; Pessoa *et al.*, 2012).

Actualmente, las estrategias nutricionales en la alimentación del pollo de engorda se basan en proporcionar el alimento en etapas o fases, las cuales se basan en los procesos fisiológicos y metabólicos del animal; su objetivo, es proporcionar al ave la cantidad necesaria de nutrimentos necesarios en una determinada edad, para evitar desperdicios o sobrealimentación (Pope y Emmert, 2001; Dozier *et al.*, 2006).

Otra estrategia es la formulación sustentada en el concepto de proteína ideal, la cual tiene como objetivo optimizar los niveles de aminoácidos en la alimentación práctica (Han y Lee, 2000; Cancherini *et al.*, 2005; Campos, 2008; Perazzo *et al.*, 2010). Con este método de formulación, la elaboración de alimentos balanceados debe hacerse utilizando los valores de aminoácidos digestibles que aportan los ingredientes y los requerimientos nutrimentales del animal (Kerr y Kidd, 1999; Baker, 2003). La proteína de la dieta se emplea en los pollos para muchas funciones, la más importante es para la síntesis de músculo (Aftab *et al.*, 2006). Se sabe que los pollos requieren en la dieta, una cantidad específica de aminoácidos esenciales y suficiente cantidad de nitrógeno, para la síntesis de aminoácidos no esenciales, en lugar de proteína cruda per se (Urdaneta *et al.*, 2005).

Actualmente, los aminoácidos cristalinos (que ofrece el mercado) se utilizan con la finalidad de disminuir el aporte de proteína cruda en las dietas de las aves (Pearsons, 2002; Lemme *et al.*, 2004; Bryden y Li, 2010). Estos aminoácidos son principalmente: metionina, lisina, treonina y triptófano; mismos que se consideran aminoácidos limitantes en los procesos fisiológicos y metabólicos de las aves (Brosnan, 2001; Wu *et al.*, 2007; Suenaga *et al.*, 2008). Además, dichos aminoácidos contribuyen, positivamente en la disminución del impacto ambiental que generan

este tipo de sistemas (Blachier *et al.*, 2007; Sugita *et al.*, 2007; Montañez *et al.*, 2008) ya que se generan excretas con menor concentración de nitrógeno y menor producción de amoníaco y disminuyen los costos de producción por concepto de proteína en las dietas (Hussein, 2001; Morris 2007; Rider *et al.* 2007).

Existen, también estrategias alimenticias que permiten prevenir o controlar ciertas enfermedades metabólicas de las aves, principalmente en pollos de engorda (Van der Klein *et al.*, 2016). En este sentido la alimentación restringida, la modulación o la disminución de la energía contenida en el alimento, son posibles estrategias para prevenir o controlar la ascitis, problema frecuente en sistemas de producción de pollos de engorda, establecidos en altitudes a los 1000 msnm, puesto que dicha altura compromete al sistema cardio-respiratorio y en consecuencia, afecta al potencial productivo de este tipo de aves (Lee and Leeson, 2001; Butzen *et al.*, 2015).

2.1.2. Control de la densidad de la población animal dentro de las casetas.

Actualmente, una de las principales preocupaciones de los productores de pollos de engorda es el bienestar animal, puesto que este aspecto asegura una mayor eficiencia del crecimiento del ave (Valdivié y Dieppa, 2002). En este sentido, la densidad (en la cual se cría el pollo de engorda) causa diversas respuestas adaptativas en función del espacio (reducido, ideal y extenso) (Buijs *et al.*, 2008 y Castellini *et al.*, 2008), obviamente un espacio que no respete el espacio vital de un pollo de engorda se traduce en estrés y la magnitud de esta afección determinara la expresión o no del potencial genético de este tipo de aves (Thaxton *et al.*, 2006).

Diversos autores han reportado que pequeños cambios en la densidad de población ($\pm 10 \text{ kg/m}^2$) tiene la capacidad de influir en el desempeño productivo (Peso corporal); puesto que conforme la densidad aumenta disminuye el consumo y conversión de alimento (Cravener *et al.*, 1992; Al-Homidan *et al.*, 2003; Dozier *et al.*, 2006). Por lo que, a mayor espacio por ave mayores beneficios económicos, debido al aumento del peso vivo/ m^2 (Estévez, 2007). Van Horne (2005) observó reducción de hasta 50% de los ingresos netos, en los sistemas de producción de pollos de engorda donde la densidad de población fue de 14 aves/ m^2 en comparación con una densidad de 10 aves/ m^2 . Mismos resultados presentaron Sheppard y Borde (2005) cuando evaluaron densidades de 8, 10 y 14 aves/ m^2 . Respecto a los indicadores productivos, Valdivié y Dieppa, 2002 y Verspecht *et al.*, 2011, reportaron disminución en el consumo de alimento ave⁻¹ de 282 g, cuando la densidad aumentó de 10aves/ m^2 a 25aves/ m^2 ; aspecto que se reflejó en el peso

corporal de los pollos de engorda: 1.880 kg ave y 1.734 kg a los 42 días de edad, respectivamente. Sin embargo, el incremento de aves (aves/m²) no solo se refleja en las variables productivas también se encuentran efectos en la calidad de la canal, debido a que el decremento del espacio vital del pollo de engorda ocasiona estereotipias que pueden iniciar con picotazos, arranque de plumas de pollos cercanos, laceraciones y hemorragias en piel he incluso muerte por lesiones de esta naturaleza, que pueden traducirse en canibalismo en los pollos dentro del sistema de producción.

2.1.3 Control de temperatura y humedad dentro de las casetas. Entre los principales factores ambientales estudiados que afectan el desempeño productivo del pollo de engorda, se encuentran la temperatura y humedad donde se alojan los pollos (Czarick *et al.*, 2000; Yahav *et al.*, 2001; Arantes *et al.*, 2016). Debido, principalmente, a que estos factores regulan la zona termo-neutral en la cual se espera un máximo rendimiento productivo (Lott *et al.*, 1998; Czarick *et al.*, 2000; Yahav *et al.*, 2001). Valores por encima o por debajo de la zona de confort del pollo de engorda, de acuerdo a la edad de las aves, produce estrés térmico en el pollo de engorda (Cahaner, 2008), lo que genera incremento o decremento del consumo de alimento (dependiente de la temperatura a la que se exponga el pollo de engorda) y pérdida de la velocidad de crecimiento en ambos casos (Baumgard y Rhoads, 2013; Sampedro *et al.*, 2013; Shao *et al.*, 2016).

La temperatura corporal de los pollos de engorda tiene mayor variabilidad comparada con los mamíferos; ya que los pollitos de un día de edad poseen una temperatura corporal entre 37.6 y 39.0°C, mientras que en el ave adulta la temperatura fluctúa entre los 40.5 y 41.9°C (Daghir y Ernst, 1995; Donald, 1997; Cockshott, 2004; Estrada *et al.*, 2007). Ello refleja que, la capacidad de termorregulación es inferior en los pollitos puesto que dicha capacidad se incrementa con el grado del desarrollo muscular y del sistema nervioso central del ave (Quiles y Hevia, 2003; Barragan, 2004). Por ello, durante los primeros 21 días de vida los pollos se les considera heterotermos (Pedersen y Thomsen, 2000; Estrada *et al.*, 2007). De aquí, la importancia de proporcionar las fuentes de calor que proporcionen y mantengan una temperatura interna de la caseta de 32, 30 y 28°C, para el pollo de engorda durante la primera, segunda y tercera semanas de vida, respectivamente (Cobb, 2014; Ross, 2014).

De acuerdo con las temperaturas estimadas para el pollo de engorda, durante las primeras tres semanas de vida, se ha determinado que valores por encima de la zona termoneutral, pueden causar deshidratación, afectando su desarrollo y, temperaturas inferiores a los 30°C, conllevan a una disminución del consumo de alimento, comprometiendo el desarrollo del sistema digestivo e inmune del ave, al reducirse la ingesta y absorción de nutrientes contenidos en la dieta, puesto que, en los primeros tres días de vida la absorción de los nutrientes presentes en el saco vitelino es estimulada por la ingesta de alimento (Fernández, 1991; Estrada *et al.*, 2007; Cortázar, 2010).

A partir de los 22-35 días de edad, la temperatura proporcionada por fuentes de calor dentro de las casetas disminuye puesto que a esta edad las aves pueden controlar su temperatura corporal (homeotermos) y alcanzan a estabilizarla entre los 40.5 y 41.9 °C (Quiles y Hevia, 2003). Este proceso de control de la temperatura corporal es acompañado por el crecimiento de las plumas, lo cual permite que el rango de comodidad se extienda y la temperatura ambiental descienda, de modo que, en las últimas semanas del periodo productivo, la temperatura interna de la caseta requerida es de 26 a 22°C después de los 21 días de edad y hasta el final del ciclo de producción (Cobb, 2014; Ross, 2014).

Entre los principales cambios fisiológicos que se han observado en aves sometidas a temperaturas de crianza inadecuadas (mayores o menores a la zona de confort), es la modificación en la regulación del apetito (Hai *et al.*, 2000; Simmons *et al.*, 2003; Song *et al.*, 2012) y cambios en la morfología intestinal y la absorción de los nutrientes del alimento (Arantes *et al.*, 2016). Así, por ejemplo, los pollos de engorda sometidos a bajas temperaturas, activan mecanismos para incrementar la producción de calor metabólico (Zhang *et al.*, 2016) y, ello lo logra incrementando ($\geq 4\%$) el consumo de alimento (Mc Geehin y Mirabelli, 2001; May y Lott, 2001; Yahav, 2009). Dichos factores tienen la capacidad de modificar la conversión alimenticia y el desarrollo corporal durante el ciclo de producción, ocasionando pérdidas económicas en la industria (Geraert *et al.*, 1996; Yahav *et al.*, 1997; Yahav, 2000; Pérez *et al.*, 2014). Todas estas alteraciones tienen la capacidad de afectar la eficiencia productiva de los pollos de engorda, bajo condiciones de sistemas de producción artificial.

2.1.4 Implementación de aditivos no farmacológicos en la dieta de los pollos de engorda. La salud intestinal o integridad intestinal en el pollo de engorda, refiere a la función óptima del tracto digestivo, aspecto primordial para la máxima eficiencia de los nutrientes del

alimento, para alcanzar el máximo rendimiento de las aves (Mateo *et al.*, 2002). Al nacimiento, el tracto gastrointestinal (TGI) es estéril (Millán *et al.*, 2007) y la longitud del intestino aumenta partir del nacimiento; sin embargo, el consumo de alimento es esencial para el crecimiento de las vellosidades intestinales (González, 2010). Por ello, el desarrollo y salud del TGI son elementos clave para la productividad del sector avícola; lo cual ha llevado a generar estrategias como el uso de probióticos, prebióticos, ácidos orgánicos y el uso de enzimas de degradación con la finalidad de promover la máxima eficiencia (Gauthier, 2002).

El empleo de probióticos en las aves está encaminado a mejorar el balance microbiano del TGI, inhibir el crecimiento de bacterias dañinas, producir enzimas hidrolíticas para mejorar la utilización de los alimentos y como resultado final, mejorar los rendimientos productivos (Millán *et al.*, 2007; Sarker *et al.*, 2010). Por otra parte, Ignatova *et al.* (2009) han reportado efectos positivos sobre el peso corporal final, al utilizar probióticos, hasta en un 14.4% más, además, de incrementarse el consumo de alimento (7.7% más), mejorándose la conversión alimenticia hasta en 8.1% más. Las formas de acción de los probióticos a nivel intestinal radican en la remoción o eliminación de agentes patógenos entéricos a través de la producción de sustancias con actividad antimicrobiana, la supresión de la producción de toxinas mediante la inhibición de la actividad metabólica de las bacterias que las producen, y la estimulación de mecanismos de defensa y la inmunidad inespecífica (Lessard, 2004). Aunado a ello, se ha establecido que, la combinación del ácido cítrico con probióticos ha demostrado mejorar la salud intestinal; de hecho, mejoran la cantidad de células y, en consecuencia, el número y tamaño de las vellosidades intestinales (Furlan *et al.*, 2004).

2.2. Variabilidad del consumo de alimento y del peso final del pollo de engorda bajo condiciones de producción comercial.

A pesar de las estrategias mencionadas anteriormente, no siempre se logra la máxima expresión del potencial genético del pollo de engorda, el cual se estima que, bajo condiciones experimentales este tipo de aves consuman 4.600 kg de alimento para producir un desarrollo corporal de hasta 2.700 kg ave⁻¹ a los 42 días de producción (Cobb, 2014; Ros, 2014). Aspecto que, en muchas ocasiones no se cumple a nivel comercial, debido principalmente a la variabilidad del ambiente bajo el cual el pollo de engorda se desarrolla y, en donde el

intercambio de energía entre el ambiente-ave se incrementa; generando mayor dinamismo y complejidad al sistema (Estrada y Márquez, 2005; Gómez *et al.*, 2011).

Lo expuesto en el párrafo anterior, se puede contrastar, con resultados encontrados a nivel comercial, en donde se ha observado una variabilidad tanto en el peso final como en la conversión alimenticia: 2.396 a 2.980kg de peso vivo, para ciclos de 42 y 49 días, respectivamente y, con conversiones de 2.1 y 2.2 kg/kg, respectivamente (Arce *et al.*, 2005; Popocatl, 2013; Servin *et al.*, 2013). De igual forma Sousa *et al.* (2016) y Saho *et al.* (2016) han reportado una modificación en el consumo de alimento y crecimiento del pollo de engorda, cuando este tipo de aves son expuestas a diversas condiciones de manejo, las cuales van desde cambios en la temperatura, humedad, fotoperiodo o incluso nutrientes en el alimento, cuyos resultados observados en el consumo de alimento fueron desde 4.120 hasta 4.800 kg ave⁻¹ y pesos corporales de 2.250 a 2.600 kg ave⁻¹, en ciclos de 42 días. Resultados que sugieren el efecto de la variación ambiental bajo producción comercial (Estrada y Márquez, 2005).

2.3. Metodologías para detectar la variabilidad en los procesos parciales de producción de pollo de engorda.

Para estabilizar (disminuir la variabilidad) el sistema de producción de pollos de engorda a nivel comercial primero se debe determinar la causa o causas de la variabilidad, para posteriormente controlarla (Ortiz *et al.*, 2015). En este sentido es frecuente, que a nivel comercial se recurra a ejecutar medidas correctivas bajo análisis superficiales y que estas (correcciones) no siempre resuelvan el problema; pues la solución a través del análisis de factores lineales temporales [causa-efecto], en esencia tomando al presente, por lo general ignoran el origen del problema y atienden el efecto del problema y no al problema mismo (Andrade, 2012). Sin embargo, para comprender mejor las causas de la variabilidad dentro del sistema se requiere conocer algunas leyes que rigen a todo sistema (Ortiz *et al.*, 2015), tales como:

- a) Los sistemas [producción animal] son dinámicos y están en constante cambio.
- b) Todo sistema tiende al equilibrio por sí mismo.
- c) Toda modificación en cualquiera de los elementos del sistema repercutirá en cada uno de los elementos restantes que componen al mismo, puesto que el sistema funciona como un todo.

- d) Toda alteración por pequeña que sea ésta, se propaga a todo el sistema de forma ondulatoria, aumentando el tamaño de onda conforme se propaga. La dificultad con esta manifestación es que se ataca al efecto del problema y no al problema mismo, cuyo origen es casi imperceptible dadas sus características de baja intensidad.

Entendiendo las leyes que rigen a todo sistema, se puede establecer que dentro de la producción animal existen una infinidad de interacciones (hombre-animal-tecnología-ambiente), mismas que deben ser analizadas y explicadas. Del mismo modo, todavía existen interacciones complejas como entre el contexto y el sistema de producción animal, entendiendo al contexto como el entorno geográfico, cultural, político, económico y comercial del propio sistema de producción animal en un momento dado. Así, al incrementar la complejidad del sistema permite establecer la dinámica de los procesos inherentes al propio sistema de producción bajo su propio entorno y en un momento dado (Juárez *et al.*, 2008; Ortiz *et al.*, 2015).

3. Planteamiento del problema

La expresión del potencial genético del pollo de engorda, depende tanto de factores intrínsecos y extrínsecos a las aves, lo cual implica la búsqueda de estrategias que maximicen la expresión del potencial genético a nivel comercial. Sin embargo, las herramientas para lograr dicha expresión obedecen, por lo general, a la solución de los efectos de los problemas cotidianos de la avicultura, más que a la solución de los problemas mismos (cuarta ley de los sistemas de producción animal). No obstante, la complejidad de todo sistema (productivo) radica en que sus componentes (hombre, animal y tecnología) no actúan de forma independiente y las respuestas obtenidas dependerán de las interacciones entre dichos componentes. Por ello, tanto para el diagnóstico como para la eficiencia de la productividad, el sistema de producción debe ser analizado a partir de los objetivos estipulados por el propio sistema, tomando en cuenta todas las fases productivas definidas por el conjunto de los principales procesos operativos. Sin embargo, uno de los problemas, que frecuentemente se observa en los sistemas de producción animal en México, es la falta de organización, debido principalmente, a la ausencia de objetivos y planificación de cada uno de los procesos productivos, lo cual se refleja, en los parámetros de producción, donde se observa una gran variabilidad en los pesos corporales de las aves, que van desde 2.396 a 2.570 kg con ciclos de producción de 43 a 49 días, respectivamente, cuando el potencial genético de los pollos de engorda es 2.700 kg en 42 días. De aquí, la importancia de aplicar estrategias que analicen y den respuesta, de manera holística, a los problemas del área de la avicultura bajo condiciones de producción comercial para que esta actividad cumpla con sus principales objetivos: ofrecer al consumidor proteína de origen animal de calidad y a bajo costo sin que ello afecte la rentabilidad de dicha actividad.

4. Hipótesis

- La producción de pollos de engorda (*Broiler*) bajo condiciones comerciales y en sistemas con tecnologías convencionales para controlar el ambiente limita la expresión del potencial genético de estas aves; puesto que, la variabilidad que permiten dichas tecnologías se acumula e incrementa conforme transcurre el ciclo de producción
- La implementación de la metodología de la ruta crítica aplicada al proceso de producción de pollos de engorda bajo condiciones comerciales y con tecnologías convencionales para controlar el ambiente permite determinar y corregir, en cada fase de producción, los puntos críticos que impiden la expresión máxima del potencial genético de dichas aves.

5. Objetivo general

- Determinar la ruta crítica e identificar los procesos productivos y/o factores, que limitan la expresión del potencial genético, lo cual incide en el desempeño productivo del pollo de engorda en los sistemas de producción avícola comerciales.

6. Objetivos específicos

- Evaluar la variabilidad presente en las variables productivas en el sistema de producción de pollo de engorda a nivel comercial.
- Determinar de acuerdo con la variabilidad los principales componentes que limitan la expresión del potencial genético del pollo de engorda a nivel comercial.
- Esquematizar y trazar los puntos críticos que afectan el potencial genético del pollo de engorda a nivel comercial.

7. Materiales y Métodos

El trabajo de investigación se realizó en un sistema de producción comercial de aves localizado en el estado de Michoacán, México; en las coordenadas 19°45' de latitud norte y 101°03' de longitud oeste, a una altura de 1,900 msnm, con un clima boscoso y temperaturas ambiente entre los 4.5 a 36.4°C a lo largo del año (INEGI, 2013).

Se evaluaron cuatro ciclos de producción, durante los meses de enero-octubre. En cada uno de ellos se utilizaron 26,000 pollos de engorda (50% machos y 50% hembras) los cuales fueron separados por sexo y confinados en casetas (densidad de 10 pollos/m²) de ambiente semi-controlado. En cada caseta, las aves se monitorearon durante las cuatro fases de producción: pre-inicio, inicio, desarrollo y finalización, en las cuales el alimento (Tabla 1 y 2) y agua fueron suministrados *ad libitum*.

Tabla 1. Ingredientes y composición de las dietas de cada una de las fases productivas

Indicador	Dieta			
	Preinicio	Inicio	Desarrollo	Finalización
Ingredientes g/kg				
Sorgo (8.5%)	620.0	619.0	640.0	691.0
Soya (46%)	255.0	322.0	275.0	230.0
Harina de pescado	20.0	0.00	0.00	0.00
Aceite vegetal	9.0	13.0	38.0	34.0
Calcio (38%)	14.70	14.00	13.10	13.10
Ortofosfato	9.90	13.50	10.60	8.50
Bicarbonato de calcio	1.50	1.50	1.50	1.50
Sal	1.80	2.90	2.80	2.70
Pigmento amarillo 11	0.00	0.00	5.50	5.50
Macromix pollo súper Preinicio	60.0	0.00	0.00	0.00
Micromix pollo INICIO 5 SC-HVIT	0.00	5.00	0.00	0.00
Micromix pollo FINAL 5 SC-HVIT	0.00	0.00	5.00	5.00
Lisina	3.5	3.9	3.8	4.5
DL metionina	3.3	3.9	3.5	3.1
Treonina	1.2	0.8	0.6	0.9
Nicarbazina (Cycarb 25%)	0.00	0.00	0.25	0.00
Salinomicina (Coxistac 12%)	0.00	0.00	0.50	0.55
Virginiamicina (Stafac 50%)	0.04	0.03	0.03	0.03

En el sistema de producción el control de la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de las casetas se realizó manualmente (cerrando o abriendo manualmente las cortinas internas y externas). Y se utilizaron campanas radiantes (criadoras) a gas programadas de forma manual

como fuentes de calor. Ambos mecanismos se utilizaron para mantener la TIC y HIC de confort de los pollos de engorda, de acuerdo con la edad de los mismos (Cobb, 2014; Ross, 2014).

Tabla 2. Composición de AA's totales (%/kg) de las dietas de cada una de las fases productivas

Indicador	Dieta			
	Preinicio	Inicio	Desarrollo	Finalización
Histidina	0.968	1.690	1.249	1.268
Treonina	2.215	2.116	1.664	1.216
Arginina	0.620	0.551	0.428	0.431
Alanina	0.843	0.600	0.352	0.314
Metionina	0.972	0.501	0.427	0.635
Valina	0.867	0.452	0.395	0.386
Fenilalanina	1.302	0.502	0.379	0.391
Isoleucina	0.836	0.323	0.315	0.291
Leucina	1.340	0.696	0.602	0.510
Lisina	0.323	0.173	0.160	0.122

En cada ciclo productivo se evaluó: la temperatura (°C) interna de la caseta (TIC), humedad (%) interna de caseta, Peso (kg) corporal semanal (PC), Ganancia de peso (kg) diaria (GPD), Consumo (kg) de alimento (CA) fase⁻¹ y Mortalidad (%) diaria (Md). Para el registro de la TIC se tomaron como referencia cuatro áreas dentro de cada caseta de producción (Figura 1); la selección de dichas áreas fue como sigue: tres áreas se seleccionaron en función de la distribución de las criadoras (2 campanas/área) (Figura 1) y la cuarta área correspondió al centro de la caseta, eliminando como punto de monitoreo de la TIC el área de las campanas radiantes (Figura 1). El registro, por área, de las temperaturas diarias (d⁻¹) se tomó con un termómetro laser (marca GB Model-TN438L0/precisión ±0.1°C) y, para el registro de la TIC d⁻¹ así como la HIC d⁻¹, se realizó con termo-higrómetro digital ubicado al centro de la caseta, el cual registró tanto temperaturas y humedades máximas y mínimas diariamente en periodos de 24 horas (Figura 1).

El cálculo para el tamaño de la muestra se realizó con una precisión del 5% asumiendo un CV del 20% y un nivel de confianza del 99% (Segura y Honhold, 2000), lo cual determinó una muestra de 106 aves semana⁻¹. En este sentido, para efectos prácticos, se seleccionaron al azar 40 aves área⁻¹ (120 aves en total) semana⁻¹. Por lo que, al finalizar cada ciclo de producción se pesaron 720 aves por caseta. Cada ave fue pesada con una báscula digital (Bch-5000/Metrology) con capacidad para 5.0 ± 0.001 kg.

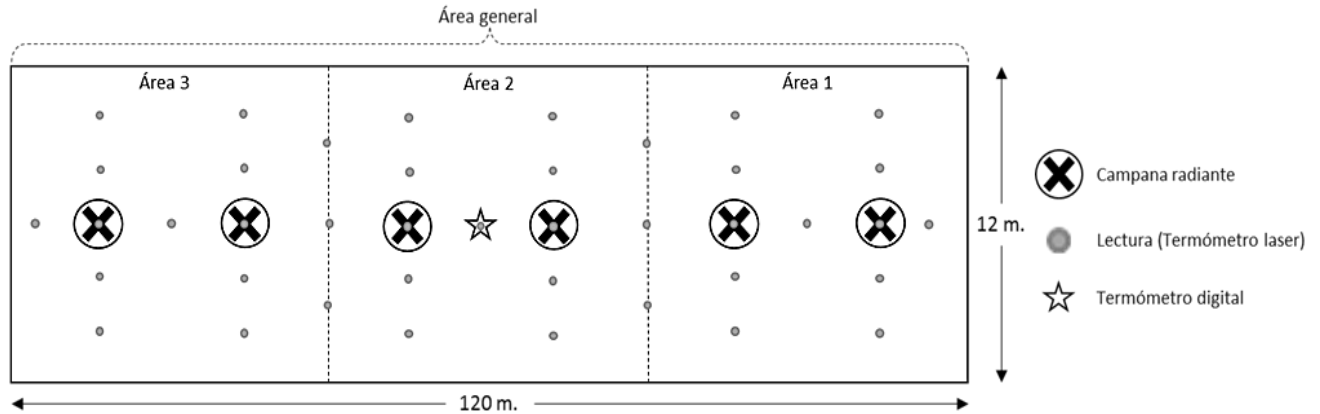


Figura 1. Distribución de la toma de lecturas de temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta en el sistema de producción

El CA fase⁻¹, este se calculó en relación al total del alimento proporcionado fase⁻¹ al total de las aves presentes en la caseta, menos el sobrante de cada fase y dividido entre las aves vivas en el momento del cálculo y la mortalidad d⁻¹ (%) se registró diariamente a lo largo de cada ciclo.

La información recabada se analizó estadísticamente 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:

$$Y_{ijkl} = \mu + C_i + FS_j + SM_k + SX_l + (C*FS*SX)_{ijl} + (C*SM*SX)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijklm} = Variable respuesta: TIC, peso corporal (PC), consumo de alimento (CA), mortalidad (Md).

μ = Constante que caracteriza la población.

C_i = Efecto fijo del j -ésimo ciclo ($i= 1^{er}, 2^{do}$).

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 ($\sim NID=0, \sigma^2_e$).

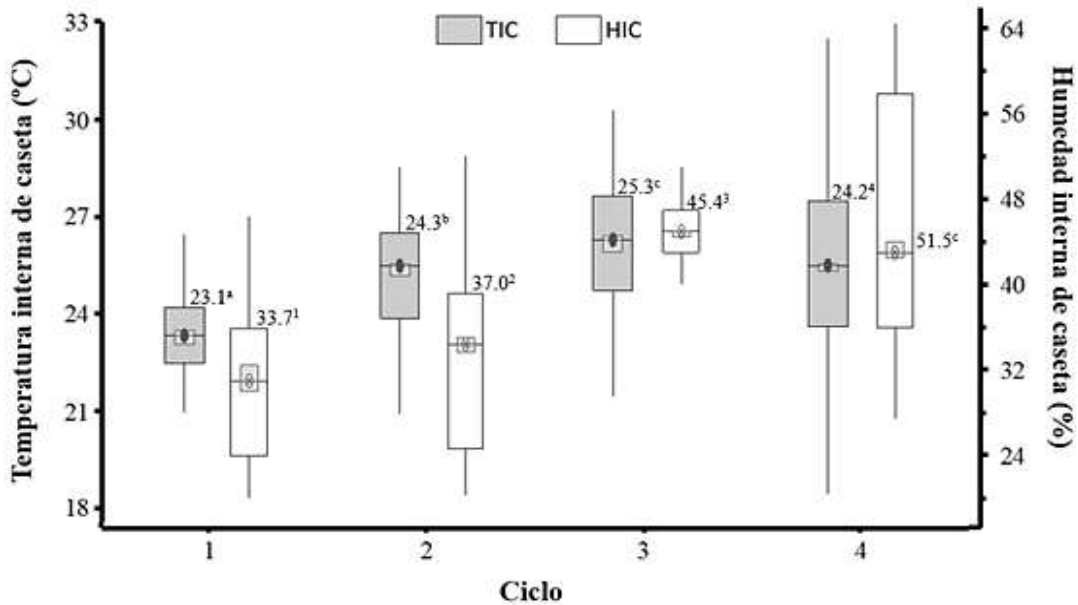
La determinación de las diferencias entre sexos o ciclo se realiza a través de la metodología de medias de mínimos cuadrados a un $\alpha = 0.05$ (Littell *et al.*, 2002).

De igual forma la información recopilada se analizó bajo el método estadístico multivariado, específicamente con el 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 ($\lambda \geq 1$) (Hair *et al.*, 1999 y Torres *et al.*, 2001). Este método permite estudiar la relación entre variables según las distancias en puntos representados en un plano, el fin es representar gráficamente la relación entre variables, el análisis se realizó utilizando el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS®)

Para el análisis de superficie de respuesta se seleccionaron como variables del proceso la Temperatura (TIC) y Humedad (HIC) interna de caseta sobre la variable respuesta Peso corporal (PC). Para ello se seleccionó un diseño de superficie de respuesta tipo Box-Behnken con 2 factores (Montgomery, 2002). El análisis de varianza y el ajuste a comportamiento lineal y/o cuadrático se realizó mediante el software para análisis estadísticos MINITAB-14®.

8. Resultados

De acuerdo con los resultados, se puede establecer que la mayor expresión del potencial genético del pollo de engorda (en un ciclo de producción de 42 días), bajo condiciones de confinamiento en casetas con regulación de temperatura y humedad mediante manejo manual de criadoras a gas y de cortinas fue de 2.569 ± 0.014 kg, independientemente de su sexo (Tabla 3). Potencial que fue determinado por la variabilidad de la temperatura (TIC) y la humedad (HIC) interna de las casetas para machos y hembras (Figura 1); producto de la interacción entre la climatología ambiental, donde se localiza el sistema de producción, tecnologías presentes en el sistema para controlarlas y el factor humano. Puesto que, el mantenimiento y control de la TIC y HIC, de acuerdo con la fase de producción, estuvieron sujetas a la pericia del operador en el manejo de las campanas a gas y de las cortinas (tanto internas como externas) de las casetas a lo largo de cada ciclo de producción.



Literales ^{a, b} = indican diferencias ($P < 0.05$) de TIC entre ciclos de producción
Numerales ^{1, 2} = indican diferencias ($P < 0.05$) de HIC entre ciclos de producción

Figura 2. Medias de mínimos cuadrados del promedio general de la temperatura (°C) y humedad (%) interna de caseta de acuerdo al ciclo de producción, independientemente del sexo

En la Figura 2, se puede observar el dinamismo del efecto de las condiciones climáticas donde se asienta el sistema de producción y la dificultad del personal del sistema para controlar la TIC y la HIC. Así, por ejemplo, la menor variabilidad ($P < 0.05$) de la temperatura ($\pm 1.3^\circ\text{C}$) y la

humedad ($\pm 7.6\%$) fue en el ciclo uno. Ello, en contraste con la variabilidad registrada en el ciclo cuatro ($\pm 2.8^\circ\text{C}$ y $\pm 11.6\%$ de humedad). Sin embargo, la mayor expresión del potencial genético (peso corporal) de los pollos de engorda se registró en el ciclo tres ($P > 0.05$): $2.569 \pm 0.014 \text{ kg}$, bajo una TIC promedio de $25.3 \pm 0.05^\circ\text{C}$ y una HIC promedio de $45.4 \pm 0.20\%$. Potencial asociado a la interacción TIC (25.3°C)-HIC (45.4%)-conversión de alimento (1.759 kg/kg), misma que se reflejó en una mayor producción por ciclo: 64.7 ton de pollo producidas (Tabla 3).

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados de los indicadores productivos del pollo de engorda (*Broiler*) de acuerdo con el ciclo de producción a los 42 días de edad

Variables	Ciclo de producción			
	Uno	Dos	tres	Cuatro
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
TIC ($^\circ\text{C}$)	$23.1^{\text{a}} \pm 0.05$	$24.3^{\text{b}} \pm 0.05$	$25.3^{\text{c}} \pm 0.05$	$24.2^{\text{c}} \pm 0.05$
HIC (%)	$33.7^{\text{a}} \pm 0.20$	$37.0^{\text{b}} \pm 0.20$	$45.4^{\text{c}} \pm 0.20$	$51.5^{\text{d}} \pm 0.20$
PC ave^{-1} (kg)	$2.192^{\text{a}} \pm 0.014$	$2.472^{\text{b}} \pm 0.014$	$2.569^{\text{c}} \pm 0.014$	$2.477^{\text{b}} \pm 0.014$
GPD ave^{-1} (kg)	$0.062^{\text{a}} \pm 0.001$	$0.072^{\text{b}} \pm 0.001$	$0.075^{\text{c}} \pm 0.001$	$0.071^{\text{b}} \pm 0.001$
CA ave^{-1} (kg)	4.627^{a}	4.581^{b}	4.520^{b}	4.340^{c}
ICA ave^{-1} (kg/kg)	2.110	1.852	1.759	1.752
Mortalidad total (%)	4.4	3.0	3.1	2.2
Toneladas producidas	55.5	62.3	64.7	62.9

PC= Peso corporal; GPD=Ganancia de peso diaria; CA= Consumo de alimento; ICA= Índice de conversión alimenticia. Literales a, b= indican diferencias ($P < 0.05$) por variable dentro de fila.

Los resultados consignados en la Tabla 3 y Figura 2, muestran las “dificultades” del personal para controlar TIC y HIC, mismas que repercutieron en la expresión del potencial genético de las aves: peso corporal (PC). Ganancia diaria de peso (GPD), consumo de alimento (CA) e índice de conversión alimenticia (ICA). Sin embargo, estos resultados son a su vez reflejo de los resultados de los procesos de producción (fases) previos a la culminación de cada ciclo evaluado.

8.1 Fase de pre-inicio: una vez realizada la recepción de la materia prima (pollito) dentro del sistema de producción evaluado dio inicio la fase de preinicio en cada ciclo, la cual duró siete días; al final de dicha etapa se pudo observar que el peso corporal promedio de los pollitos fue mayor ($P < 0.05$) en el ciclo cuatro: 0.167 ± 0.021 y $0.149 \pm 0.021 \text{ kg}$, para machos y hembras, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para peso corporal (kg) durante la fase de pre-inicio de acuerdo al sexo y ciclo de producción

	<i>Ciclo de producción</i>			
	<i>Uno</i>	<i>Dos</i>	<i>Tres</i>	<i>Cuatro</i>
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
<i>Peso inicial*</i>	0.042 ^a ± 0.002	0.034 ^b ± 0.002	0.038 ^c ± 0.002	0.041 ^d ± 0.002
	<i>Semana uno</i>			
<i>PC final (Machos)</i>	0.137 ^a ± 0.021	0.134 ^a ± 0.021	0.130 ^a ± 0.021	0.167 ^b ± 0.021
<i>PC final (Hembras)</i>	0.137 ^a ± 0.021	0.131 ^a ± 0.021	0.140 ^b ± 0.021	0.149 ^c ± 0.021
<i>Peso final Promedio</i>	0.137 ^a ± 0.001	0.132 ^b ± 0.001	0.135 ^{ab} ± 0.001	0.158 ^c ± 0.001

*= Peso de los pollitos a la llegada al sistema; Literales a, b, c= indican diferencias (P<0.05) dentro de fila.

De acuerdo con los valores consignados en la Tabla 4, la materia prima que ingresó en el ciclo cuatro con pesos >40g generó en siete días un producto (A), para la fase de inicio, de mejor calidad (0.158±0.001kg, en promedio), comparado con el producto A obtenido en el ciclo dos: 0.132±0.001 kg ave⁻¹ en promedio.

Tabla 5. Variables que conforman cada uno de los componentes principales durante la fase de pre-inicio

Componente	Variable	Valor de la Contribución	% Variación	Variación Total
<i>I</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		
<i>II</i>	HIC promedio	0.99	34.4	
	Humedad mínima	0.99		
	Humedad máxima	0.99		
	Mes (periodo)	0.76		

Correlaciones (r) de las variables transformadas dentro de los componentes principales

	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
Dimensión	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Autovalor	6.88	0.75	0.39	0.15	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00

No obstante, al evaluar la información recabada, mediante el análisis de componentes principales, en la fase de pre-inicio y durante los cuatro ciclos de producción (Tabla 5), se pudo

establecer que para explicar la variabilidad observada en dicha fase, se requiere de tan solo dos componentes: el primer componente (temperatura-alimento) explicó el 43% de la variación total y estuvo compuesto por las variables relacionadas con TIC, GDP (ambas positivas) y CA (en forma negativa). El segundo componente (humedad-mes) explicó el 34.4% de la variación total y se conformó por las variables relacionadas con HIC y el mes, cuyas contribuciones fueron con signo positivo (Tabla 5). Además, la asociación (r) entre TIC y HIC ($r = 0.47$) sugiere que a mayor TIC la HIC se incrementa (Tabla 5). 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. Mientras que, la asociación entre Tmax-GDP fue alta y positiva ($r = 0.85$), pero la asociación GDP-CA fue negativa ($r = -0.88$) (Tabla 5).

El análisis de la variabilidad de la temperatura y humedad (Figura 3) en conjunto con la variabilidad de los pesos finales (Tabla 4) en la fase de pre-inicio permitió establecer que, la mayor expresión del potencial genético de los pollos de engorda (0.167 ± 0.021 y 0.149 ± 0.021 kg ave⁻¹ para machos y hembras, respectivamente) se encontró en el ciclo cuatro ($P < 0.05$) y en el cual, se registraron las mayores ($P < 0.05$) temperaturas mínimas y máximas: $26.5 \pm 0.13^\circ\text{C}$ y $32.4 \pm 0.13^\circ\text{C}$, respectivamente (Tabla 6).

Tabla 6. Temperatura (TIC), humedad (HIC), consumo (kg)* y conversión* (kg/kg) de alimento durante la fase de pre-inicio de acuerdo al sexo, semana y ciclo de producción

Variable	Semana uno			
	Ciclo de producción			
	Uno	Dos	Tres	Cuatro
	Machos			
TIC (°C)	24.8 ^a	26.9 ^b	26.6 ^c	29.4 ^d
HIC (%)	21.3 ^a	21.4 ^a	42.9 ^b	31.6 ^c
GPD _{diaria} (g)	14 ^a	14 ^a	13 ^a	18 ^b
CA ave ⁻¹ (kg)	0.157	0.152	0.156	0.148
ICA ave ⁻¹ (kg/kg)	1.680 ^a	1.568 ^b	1.772 ^c	1.190 ^d
	Hembras			
TIC (°C)	24.9 ^a	29.2 ^b	26.5 ^c	29.8 ^d
HIC (%)	25.2 ^a	25.5 ^a	43.1 ^b	33.5 ^c
GPD _{diaria} (kg)	14 ^a	13 ^a	14 ^a	15 ^a
CA ave ⁻¹ (kg)	0.157	0.141	0.154	0.139
ICA ave ⁻¹ (kg/kg)	1.146 ^a	1.077 ^b	1.100 ^b	0.933 ^c

* = Cálculo aproximado obtenido a través del consumo total de alimento ofrecido a los 26,000 pollos de engorda (50% machos y 50% hembras) por ciclo; Literales a, b, c, d= indican diferencia ($P < 0.05$) dentro de fila.

Sin embargo, a pesar de que las menores TIC se registraron en el ciclo uno (pre-inicio), fue en el ciclo dos donde el desarrollo promedio del pollo de engorda (entre machos y hembras) fue menor ($P < 0.05$): 0.132 ± 0.001 kg (Tabla 4); no obstante que, tanto el CA e ICA fueron mayores

en el ciclo uno, donde los pollos requirieron consumir aproximadamente 0.157 kg de alimento para alcanzar un peso vivo de 0.137 kg (Tabla 6). Por el contrario, en donde se registró una mayor TIC (ciclo cuatro), los pollitos consumieron aproximadamente 0.149 kg para alcanzar 0.158 kg de peso vivo (Tabla 6).

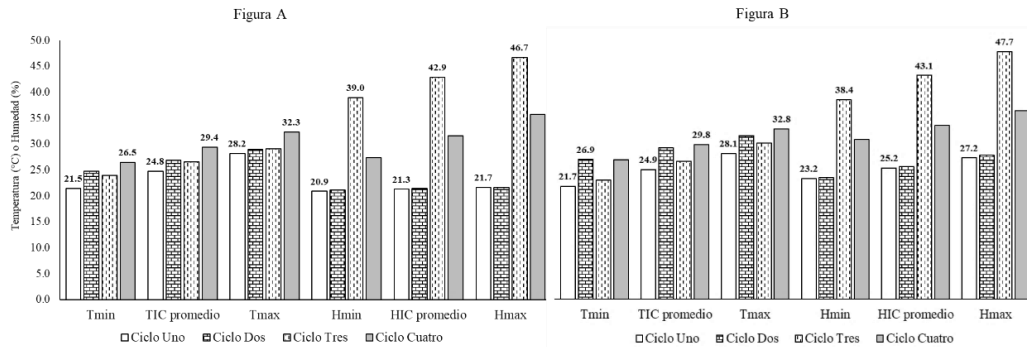


Figura 3. Temperatura (°C) y humedad (%) interna de caseta, durante la fase de pre-inicio, de acuerdo al ciclo de producción y sexo: Machos (Figura A) y Hembras (Figura B)

Por otra parte, el diagrama bi espacial de las variables que conforman los componentes principales de la fase de pre-inicio (Figura 4) muestra que las temperaturas (Tmin, TIC y Tmax) así como la GPD se ubicaron a la derecha (proporción positiva) en el eje de la dimensión 1, con valores positivos (mayores a 80%) y en el extremo contrario, dentro de la dimensión 1, se localizó el CA de forma negativa y alta: -0.91%.

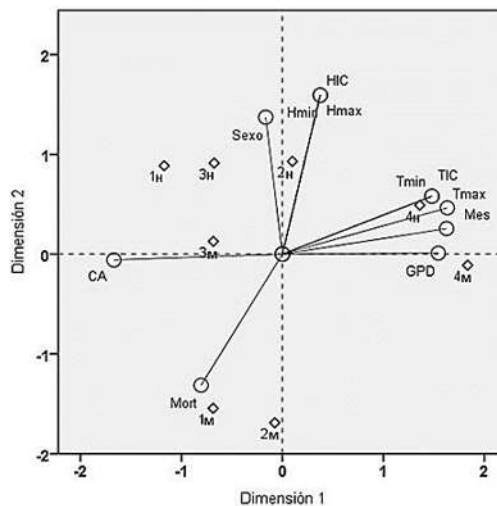


Figura 4. Diagrama bi espacial de las variables que conforman los componentes principales durante la fase de pre-inicio

Para el caso de la humedad (Hmin, HIC y Hmax) y el periodo de evaluación (mes), estas se localizaron de forma positiva en el eje de la dimensión 2, con valores cercanos a 100%, excepto el periodo de evaluación: 0.76% (Figura 4). De acuerdo con la localización de las variables en el diagrama biespacial, se puede establecer que las variables que afectaron en mayor grado la expresión del potencial de crecimiento del pollo de engorda fueron las variables TIC y HIC. Aspecto que se observó con mayor precisión con los resultados del análisis de superficie de respuesta (Figura 5 y Tabla 7). En este análisis se determinó que tanto el modelo lineal, cuadrático y la interacción de las variables TIC, HIC y Semana tuvieron efecto ($P < 0.001$) sobre el peso corporal del pollito.

Tabla 7. Análisis de varianza para la variable de respuesta Peso corporal

Fuente	GL	SC Ajuste	CM Ajuste	Valor F	P<0.05
Modelo	20	3076.58	153.829	10986.74	0.0001
Lineal	7	1080.81	154.402	11027.66	0.0001
TIC	1	0.18	0.177	12.65	0.0001
HIC	1	0.05	0.050	3.54	0.060
Semana	5	697.97	139.594	9970.03	0.0001
Cuadrático	2	0.55	0.275	19.67	0.001
TIC*TIC	1	0.08	0.079	5.62	0.018
HIC*HIC	1	0.51	0.508	36.27	0.0001
Interacción	11	1.47	0.134	9.55	0.0001
TIC*HIC	1	0.06	0.062	4.42	0.036
TIC*Semana	5	0.62	0.124	8.82	0.0001
HIC*Semana	5	0.74	0.149	10.62	0.0001
Error	4479	62.71	0.014		
Falta de ajuste	229	19.73	0.086	8.52	0.0001
Error puro	4250	42.98	0.010		
Total	4499	3139.29			

A partir de dichos modelos se determinaron los valores óptimos de TIC y HIC que pueden maximizar el desarrollo del pollo de engorda (PC) en la fase de pre-inicio; donde de acuerdo con los coeficientes de regresión ($P < 0.05$), se estableció (independientemente del sexo del pollito) que, el máximo PC ($0.150 \text{ kg ave}^{-1}$) del pollito se alcanza con TIC de 30°C y HIC de 40% (Figuras 5 y 6). No obstante, la respuesta máxima para el PC en machos ($0.152 \text{ kg ave}^{-1}$) se obtiene a 31°C y con 42% de humedad (Tabla 8); PC que puede llegar hasta $0.122 \text{ kg ave}^{-1}$ si la temperatura y humedad es de 19.9°C y 20%, respectivamente; así mismo, al incrementarse dichas variables por arriba del valor óptimo ($30^\circ\text{C}/42\%$ humedad), el PC máximo solo será de $0.143 \text{ kg ave}^{-1}$ (Tabla 8).

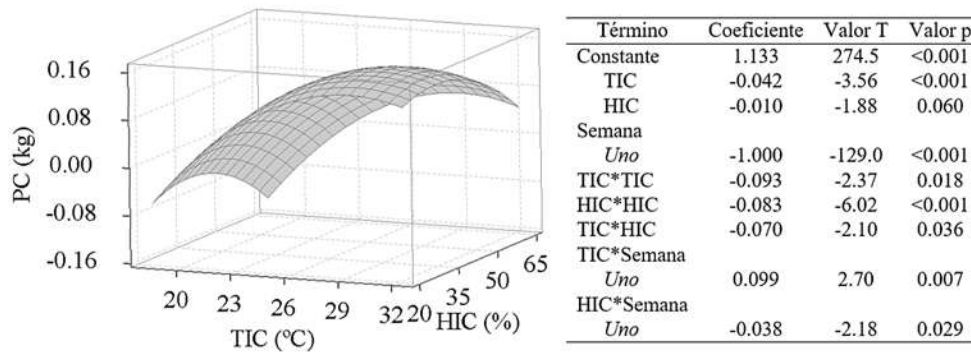


Figura 5. Superficie de respuesta estimada para el peso corporal (PC), independientemente del sexo, en relación con la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta durante la fase de pre-inicio (Semana uno)

Para el caso de las hembras, se determinó que el PC máximo (0.149 kg ave⁻¹), en fase de pre-inicio, se puede lograr a 32°C y con una humedad del 47% (Tabla 8). Pero, con TIC de 18°C y HIC de 20%, el PC máximo del ave disminuye 19 g; mismo efecto se observó al predecir el peso del ave cuando la TIC y HIC fue de 34.6°C y 49% de humedad (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de optimización de respuesta para peso corporal (PC) en relación a la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna en casetas para machos y hembras durante la fase de pre-inicio

Rangos	Temperatura (°C)	Humedad (%)	PC (kg)
<i>Promedio optimo</i> (hembras y machos)		<i>Semana uno</i>	
	30*	40*	0.150
	Machos		
<i>Mínimos</i>	19.9&	20&	0.122
	29.2<	43<	0.140
<i>Optimo</i>	31.0^	42^	0.152**
<i>Máximos</i>	24.7&	20&	0.129
	34.2<	48<	0.143
	Hembras		
<i>Mínimos</i>	18.4&	20&	0.127
	30.1<	42<	0.144
<i>Optimo</i>	32.0^	47^	0.149**
<i>Máximos</i>	27.1&	21&	0.130
	34.6<	49<	0.140

*= valores de humedad y temperatura para peso optimo independientemente del sexo; &= valores mínimos registrados para humedad y temperatura; <= valores máximos registrados para humedad y temperatura; ^= valores de humedad y temperatura para peso óptimo; **=peso óptimo.

8.2 Fase de Inicio: de acuerdo con los resultados observados en la fase de pre-inicio por sexo y ciclo evaluado, la principal causa de la variabilidad en el PC del pollito y en consecuencia de la materia prima para la fase de inicio fueron: TIC y HIC. En este sentido, únicamente el ciclo cuatro produjo, en la fase de pre-inicio, un producto (pollitos) de buena calidad (158 g); misma que fue la materia prima para la fase de inicio (del día 8 al 21 de producción) (Tabla 9).

Al analizar los resultados sobre PC de los pollitos en la fase de inicio (Tabla 9) se pudo establecer que el promedio del PC final, de acuerdo con el sexo, en los tres primeros ciclos fueron similares ($P>0.05$), solo el PC final fue mayor ($P<0.05$) en el ciclo cuatro, específicamente en machos (809 g ave^{-1}), puesto que las hembras en este ciclo mostraron similitud ($P<0.05$) en el PC final (727 g) con las hembras del resto de los ciclos evaluados; ciclos en donde predominó un ambiente (TIC y HIC) relativamente estable (Tabla 13).

Tabla 9. Medias de mínimos cuadrados para el peso corporal (kg) durante la fase de inicio de acuerdo al sexo y ciclo de producción

	<i>Ciclo de producción (Pre-inicio)</i>			
	<i>Uno</i>	<i>Dos</i>	<i>Tres</i>	<i>Cuatro</i>
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
<i>Peso (Producto "A") *</i>	0.137 ^a ±0.001	0.132 ^b ±0.001	0.135 ^{ab} ±0.001	0.158 ^c ±0.001
	<i>Semana dos (Fase de Inicio)</i>			
<i>PC final (Machos)</i>	0.362 ^a ± 0.024	0.375 ^a ± 0.015	0.368 ^a ± 0.015	0.436 ^b ± 0.015
<i>PC final (Hembras)</i>	0.350 ^a ± 0.024	0.346 ^a ± 0.015	0.355 ^a ± 0.015	0.382 ^b ± 0.015
	<i>Semana tres (Fase de Inicio)</i>			
<i>PC final (Machos)</i>	0.781 ^a ± 0.020	0.763 ^a ± 0.012	0.775 ^a ± 0.012	0.809 ^b ± 0.012
<i>PC final (Hembras)</i>	0.710 ^a ± 0.020	0.724 ^a ± 0.012	0.729 ^a ± 0.012	0.727 ^a ± 0.012
<i>Peso final Promedio</i>	0.745 ^a ±0.008	0.743 ^a ±0.008	0.750 ^a ±0.008	0.768 ^b ±0.008

*= Peso promedio estimado de la fase de preinicio (Producto "A"); Literales a, b, c= indican diferencia ($P<0.05$) dentro de fila; PC= peso corporal.

Con respecto al párrafo anterior, el análisis de componentes principales determinó que la variable humedad (máxima, promedio y mínima) conformó el primer componente (Tabla 10), el cual explicó el 34.1% de la variación total. El segundo componente explicó el 32.3% de la variabilidad total y estuvo conformado por la variable temperatura (maxima, promedio y minima), que en conjunto con el primer componente (humedad) explicaron el 66.4% de la variación total durante la fase de inicio. El tercer componente (genético) se conformó únicamente por las variables GDP (de forma negativa) y sexo de las aves (de forma positiva). No obstante que, dicho componente solo explicó el 19.7% de la variación total.

Al analizar las asociaciones entre las variables analizadas (Tabla 10), la temperatura y la humedad se asociaron en tan solo 20% ($r = 0.20$). Sin embargo, la asociación entre la TIC-GPD fue alta y negativa ($r = -0.59$); caso contrario a la asociación entre la HIC y GPD, la cual fue baja y positiva ($r = 0.14$). Mientras que, la asociación entre GPD y Sexo fue alta y negativa ($r = -0.77$) (Tabla 10); aspecto que se puede apreciar mejor en la Figura 6 y en Tabla 11.

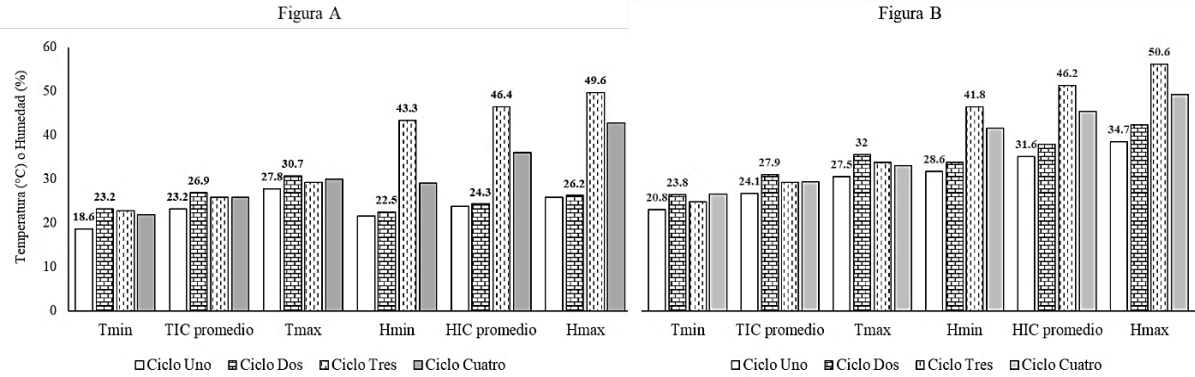


Figura 6. Temperatura (°C) y humedad (%) interna de caseta, durante la fase de Inicio, de acuerdo al ciclo de producción y sexo: Machos (Figura A) y Hembras (Figura B)

De manera general se puede observar (Figura 6) que en la fase de inicio se presentó una mayor variación en la humedad (mínima y máxima), específicamente en los ciclos tres y cuatro, tanto en casetas para machos y hembras. Mientras que la temperatura (mínima y máxima) en el ciclo uno y dos es donde se registraron las mayores fluctuaciones (Figura 6).

Tabla 10. Variables que conforman cada uno de los componentes principales durante la fase de 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		

Correlaciones (r) de las variables transformadas dentro de los componentes principales

	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
Dimensión	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Autovalor	5.393	3.76	1.484	0.232	0.09	0.037	0.004	0	0

En la Tabla 11, se puede observar que durante la semana dos y tres de producción (fase de inicio) el CA (kg), ICA (kg/kg) y GDP (g ave⁻¹) fueron menores (P<0.05) en el ciclo cuatro, tanto en machos (1.044 kg, 1.375 kg/kg y 53 g ave⁻¹; ciclo cuatro) como en hembras (0.965 kg, 1.328 kg/kg y 51 g ave⁻¹; ciclo cuatro), Sin embargo, el promedio del PC final (en la semana tres) de las aves del ciclo cuatro (0.768 kg) fue mejor en comparación con el resto de los ciclos evaluados; a pesar del incremento observado en CA e ICA en los ciclos uno dos y tres. Los cuales no produjeron diferencias (P>0.05) entre los promedios de GPD y el PC final de las aves en dichos ciclos, al final de la fase (entre 0.743 a 0.750 kg ave⁻¹ en la semana tres) (Tabla 11).

Tabla 11. Temperatura (TIC), humedad (HIC), consumo (kg)* y conversión* (kg/kg) de alimento durante la fase de inicio de acuerdo al sexo, semana y ciclo de producción

Variable	Semana dos				Semana tres			
	Ciclo de producción				Ciclo de producción			
	Uno	Dos	Tres	Cuatro	Uno	Dos	Tres	Cuatro
	Machos							
TIC (°C)	23.5 ^a	27.4 ^b	26.6 ^c	26.8 ^c	23.0 ^a	26.6 ^b	25.5 ^c	25.4 ^c
HIC (%)	21.8 ^a	23.7 ^b	46.1 ^c	35.1 ^d	25.4 ^a	24.8 ^a	46.7 ^b	36.4 ^c
GPD ^{diaria} (g)	32 ^a	34 ^a	34 ^a	38 ^a	60 ^a	56 ^a	58 ^a	53 ^b
CA ave ⁻¹ (kg)	0.491	0.484	0.470	0.469	1.194	1.077	1.102	1.044
ICA ave ⁻¹ (kg/kg)	1.576 ^a	1.448 ^b	1.552 ^a	1.200 ^b	1.597 ^a	1.503 ^a	1.500 ^a	1.375 ^b
	Hembras							
TIC (°C)	24.3 ^a	27.8 ^b	26.4 ^c	27.6 ^b	24.1 ^a	28.0 ^b	26.3 ^c	25.6 ^d
HIC (%)	27.6 ^a	32.3 ^b	45.6 ^c	40.8 ^d	34.7 ^a	35.5 ^a	46.6 ^b	40.0 ^c
GPD ^{diaria} (kg)	30 ^a	31 ^a	31 ^a	33 ^a	49 ^b	54 ^a	53 ^a	51 ^b
CA ave ⁻¹ (kg)	0.460	0.441	0.455	0.407	1.130	1.039	1.016	0.965
ICA ave ⁻¹ (kg/kg)	1.315 ^a	1.275 ^a	1.282 ^a	1.066 ^b	1.410 ^a	1.334 ^b	1.389 ^b	1.328 ^b

* = Cálculo aproximado obtenido a través del consumo total de alimento ofrecido a los 26,000 pollos de engorda (50% machos y 50% hembras) por ciclo; Literales a, b, c, d= indican diferencia (P<0.05) dentro de fila.

Por otra parte, estos resultados concuerdan con el diagrama bi espacial de las variables que conforman los componentes principales de la fase de inicio (Figura 7), en el cual se observa que la temperatura (Tmin, TIC y Tmax) se agruparon dentro de la dimensión 1 de forma positiva cercanas al 100%; mientras que, GPD se encuentra dentro de la misma dimensión de forma negativa: -0.98 (Figura 7). Respecto a las variables humedad mínima (Hmin) HIC, humedad máxima (Hmax) y CA, se localizaron de forma positiva, dentro de la dimensión 2, cercanas al 100% (Figura 7).

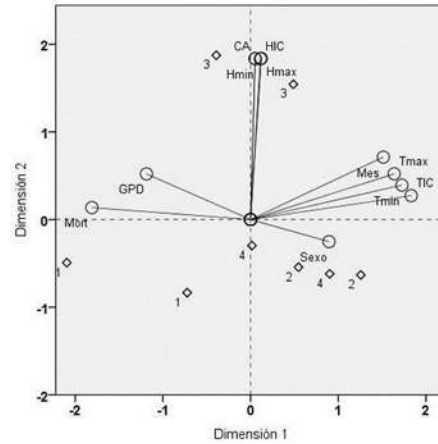
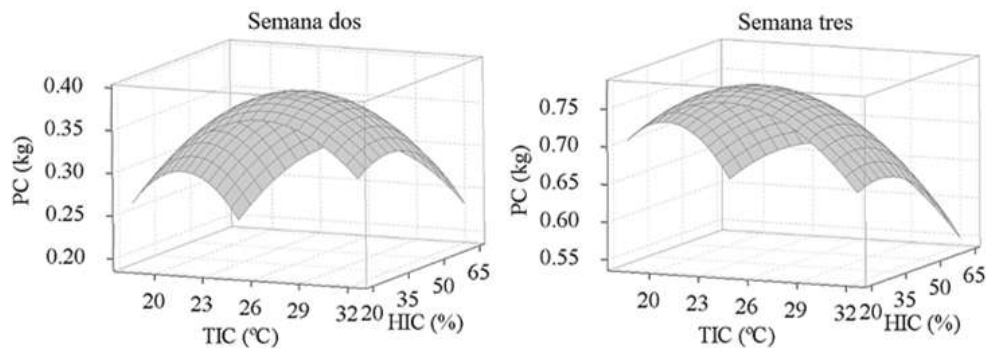


Figura 7. Diagrama bi espacial de las variables que conforman los componentes principales durante la fase de inicio

Al igual que en la fase de pre-inicio, de acuerdo al diagrama bi espacial, se puede establecer que las variables temperatura y humedad son las que pudieron afectar en mayor grado la expresión del crecimiento del pollo de engorda. En este sentido, el análisis de superficie de respuesta durante la fase de inicio (semana dos y tres de producción), permitió establecer que la máxima respuesta del PC ($0.360 \text{ kg ave}^{-1}$), durante la semana dos e independientemente del sexo, se alcanzaría bajo una temperatura de 28°C y humedad de 35% (Figura 8); mientras que, para la semana tres de producción la máxima respuesta ($\text{PC}=750 \text{ g}$) se alcanzaría con 26°C y 36% de humedad (Figura 8).



Término	Semana dos			Semana tres		
	Coficiente	Valor <i>T</i>	Valor <i>p</i>	Coficiente	Valor <i>T</i>	Valor <i>p</i>
Constante	1.133	274.5	<0.001	1.133	274.5	<0.001
TIC	-0.042	-3.56	<0.001	-0.042	-3.56	<0.001
HIC	-0.010	-1.88	0.060	-0.010	-1.88	0.060
Semana	-0.746	-104.7	<0.001	-0.370	-60.2	<0.001
TIC*Semana	0.042	1.44	0.151	0.013	0.52	0.604
HIC*Semana	-0.034	-2.41	0.016	-0.047	-3.49	<0.001

Figura 8. Superficie de respuesta estimada para el peso corporal (PC), independientemente del sexo, en relación al efecto de temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta, durante la fase de inicio (Semana dos y tres)

Para el caso de la máxima respuesta del peso corporal, en casetas para machos (Tabla 12), durante la semana dos de producción, se determinó que el peso óptimo (0.421 kg ave⁻¹) se obtendría a una temperatura de 29°C y humedad del 41% (Tabla 12); sin embargo, si los valores de temperatura y humedad descienden hasta los 18°C y 19%, respectivamente, el PC se afecta de manera negativa (PC=384 g); lo mismo sucede al incrementarse dichas variables (32.2°C/54%): el PC del pollo (macho) no alcanza su máxima expresión (405 g) (Tabla 12). Mientras que, en las hembras en la semana dos la máxima respuesta del PC sería de 0.371 kg ave⁻¹, siempre y cuando la TIC y la HIC fueran de 31°C y del 48% (Tabla 12), de lo contrario el desarrollo de las hembras se verá afectado: 340 g con 18°C/20% humedad o 360 g con 32°C/58% de humedad.

Tabla 12. Valores de optimización de respuesta para peso corporal (PC) en relación a la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna en casetas para machos y hembras durante la fase de inicio

Rangos	Semana 2			Semana 3		
	Temperatura (°C)	Humedad (%)	PC (kg)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	PC (kg)
	28*	35*	0.360	26*	36*	0.750
Machos						
<i>Mínimos</i>	18.0&	19&	0.334	17.0&	19&	0.724
	26.0<	49<	0.357	25.0<	52<	0.747
<i>Óptimos</i>	29.0^	41^	0.421**	28.0^	43^	0.803**
<i>Máximos</i>	26.8&	20&	0.345	27.0&	24&	0.770
	32.2<	54<	0.405	31.5<	51<	0.790
Hembras						
<i>Mínimos</i>	18.8&	20&	0.340	17.2&	24.0&	0.669
	26.1<	45<	0.364	27.7<	45.0<	0.729
<i>Óptimos</i>	31.0^	48^	0.371**	28.0^	46^	0.730**
<i>Máximos</i>	27.4&	25&	0.351	25.0&	31.0&	0.714
	32.0<	58<	0.360	32.5<	54.6<	0.718

*= valores de humedad y temperatura para peso óptimo independientemente del sexo; &= valores mínimos registrados para humedad y temperatura; <= valores máximos registrados para humedad y temperatura; ^= valores de humedad y temperatura para peso óptimo; **= peso óptimo.

En cuanto a la semana tres de producción, se determinó que la respuesta máxima del PC en machos (0.803 kg ave⁻¹) se obtendría a una temperatura de 28°C y humedad del 43% (Tabla 12); mientras que, en hembras (0.730 kg ave⁻¹) sería a una temperatura de 28°C con una humedad del 46% (Tabla 12). Sin embargo, al igual que las semanas anteriores, la fluctuación de las temperaturas y humedad (por arriba o por debajo de las óptimas) tiene la capacidad de modificar el PC óptimo estimado. Así, por ejemplo, en casetas para machos si dichos valores disminuyen (17.0°C/19%) o aumentan (31.5°C/51%) el PC esperado será de 784 g y 790g, respectivamente (Tabla 12). De igual forma, en las casetas para hembras al disminuir (17.2°C/24%) o

incrementarse (32.2°C/54.6%) los valores de temperatura y humedad, la respuesta esperada será de 669 y 718 g, respectivamente (Tabla 12).

8.3 Fase de desarrollo: las aves del ciclo cuatro fueron las que proveyeron de una materia prima de mayor calidad (pollos de 768 g) a la fase de desarrollo (del día 22 al 36 del ciclo de producción); sin embargo, este potencial ya no se expresó (PC promedio final) al culminar la fase de desarrollo (Tabla 13). Puesto que se observó que las aves del ciclo tres mostraron mayor ($P<0.05$) PC final (1.879 g) en comparación con el resto de los ciclos evaluados (1.682 a 1.851 kg) (Tabla 13).

Tabla 13. Media de mínimos cuadrados para peso corporal (kg) durante la fase de desarrollo de acuerdo al sexo y ciclo de producción

	<i>Ciclo de producción</i>			
	<i>Uno</i>	<i>Dos</i>	<i>Tres</i>	<i>Cuatro</i>
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
<i>Peso (Producto “B”) *</i>	0.745 ^a ±0.008	0.743 ^a ±0.008	0.750 ^a ±0.008	0.768 ^b ±0.008
	<i>Semana cuatro</i>			
<i>PC final (Machos)</i>	1.172 ^a ± 0.011	1.209 ^b ± 0.011	1.282 ^c ± 0.011	1.336 ^d ± 0.011
<i>PC final (Hembras)</i>	1.049 ^a ± 0.010	1.163 ^b ± 0.010	1.214 ^c ± 0.010	1.201 ^c ± 0.010
	<i>Semana cinco</i>			
<i>PC final (Machos)</i>	1.768 ^a ± 0.011	1.857 ^b ± 0.011	1.953 ^c ± 0.011	1.950 ^d ± 0.011
<i>PC final (Hembras)</i>	1.597 ^a ± 0.010	1.751 ^b ± 0.010	1.804 ^c ± 0.010	1.752 ^b ± 0.010
<i>Peso final Promedio</i>	1.682 ^a ± 0.007	1.804 ^b ± 0.007	1.879 ^c ± 0.007	1.851 ^d ± 0.007

*= Peso promedio estimado de la fase de inicio (Producto “B”); Literales a, b, c= indican diferencia ($P<0.05$) dentro de fila.

Para el caso de los resultados de los componentes principales, se pudo establecer que durante la fase de desarrollo, se encontraron dos componentes: el primero conformado (de forma positiva) por la humedad (Hmin, HIC y Hmax) y mes, así mismo (de forma negativa) por la Tmax y CA (Tabla 14), componente que explico el 37.9% de la variación total. El segundo componente, se conformó por la temperatura (mínima y promedio) y la GPD, ambas de forma positiva (Tabla 14), dicho componente explico el 37.6% de la variación total durante la fase de desarrollo.

A diferencia de la etapa anterior (inicio), durante la etapa de desarrollo, tanto los incrementos como los decrementos de la humedad se correlacionaron de forma directa con temperatura: $r=0.99$ para Tmin-Hmax y $r=-0.87$ para Tmax-Hmax (Tabla 14). Estas correlaciones altas también se observaron entre CA-HIC ($r=-0.83$), CA-Tmax ($r=0.72$) y CA-Tmin ($r=-0.83$). En relación con la asociación entre GPD y humedad, se encontró una correlación positiva y alta ($r=0.53$); mientras que las correlaciones entre la GPD y las temperaturas fueron como siguen:

GPD-Tmax ($r=-0.37$) y GPD-Tmin ($r=0.56$). Dichas correlaciones pueden apreciarse mejor cuando se analizan el desarrollo de las aves de acuerdo con el ciclo y sexo (Tabla 15).

Tabla 14. Variables que conforman cada uno de los componentes principales durante la fase de desarrollo

Componente	VARIABLES	Valor de la contribución	% Variación	Variación total (%)
<i>I</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		
<i>II</i>	Temperatura media	0.92	37.6	
	Temperatura mínima	0.90		
	Ganancia diaria de peso	0.86		
	Mortalidad diaria	-0.73		

Correlaciones (r) de las variables transformadas dentro de los componentes principales

	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
Dimensión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Autovalor	7.431	0.766	0.488	0.106	0.034	0.004	0	0	0	0

En referente al PC de las aves en los diferentes ciclos evaluados, se observó diferencias ($P<0.05$) en el PC de los machos y de las hembras entre ciclos (Tabla 14). Encontrándose la mayor expresión del potencial genético (PC) en machos (1.336 kg) en el ciclo cuatro y en hembras (1.214 kg) en el ciclo tres, durante la semana cuatro de producción. En la semana cinco, dicho potencial se encontró en ciclo tres, tanto para hembras (1.953 kg) como para machos (1.803 kg) (Tabla 14).

Durante la semana cuatro, la GPD incrementó ($P<0.05$) en los ciclos tres y cuatro, tanto en machos (75 g) como en hembras (69 g) bajo condiciones ambientales cercanas a los 25.5°C y humedades de 44 a 51% (Tabla 15 y Figura 9). Mientras que el CA incrementó únicamente el

ciclo tres (1.903 a 2.031 kg). Para el caso del ICA fue mayor en el ciclo uno, con valores en machos de 1.576 kg/kg y en hembras de 1.865kg/kg; bajo temperaturas de 22.7 a 24.2°C y humedades de 48 a 56%, respectivamente (Tabla 15 y Figura 9).

Tabla 15. Temperatura (TIC), Humedad (HIC), consumo (kg)* y conversión* (kg/kg) de alimento durante la fase de desarrollo de acuerdo al sexo, semana y ciclo de producción

Variable	Semana cuatro				Semana cinco			
	Ciclo de producción				Ciclo de producción			
	Uno	Dos	Tres	Cuatro	Uno	Dos	Tres	Cuatro
	Machos							
TIC (°C)	24.2 ^a	26.1 ^b	25.3 ^c	25.8 ^c	23.0 ^a	24.4 ^b	23.9 ^c	23.4 ^c
HIC (%)	29.8 ^a	32.2 ^b	44.1 ^c	46.2 ^d	31.6 ^a	41.2 ^a	44.9 ^b	61.9 ^c
GPD ^{diaria} (g)	56 ^a	64 ^b	73 ^c	75 ^c	85 ^a	93 ^b	95 ^b	88 ^a
CA ave ⁻¹ (kg)	1.997	1.967	2.031	1.906	3.199	3.151	3.253	3.050
ICA ave ⁻¹ (kg/kg)	1.676 ^a	1.448 ^b	1.552 ^b	1.200 ^c	1.597 ^a	1.503 ^b	1.500 ^b	1.375 ^c
	Hembras							
TIC (°C)	22.7 ^a	25.0 ^b	25.5 ^c	25.7 ^c	22.6 ^a	24.7 ^b	24.2 ^b	23.8 ^c
HIC (%)	37.8 ^a	35.4 ^a	46.0 ^b	51.1 ^c	35.9 ^a	43.5 ^b	44.7 ^c	62.0 ^d
GPD ^{diaria} (kg)	48 ^a	63 ^b	69 ^c	68 ^c	78 ^a	84 ^b	84 ^b	79 ^a
CA ave ⁻¹ (kg)	1.871	1.843	1.903	1.789	2.978	2.933	3.028	2.939
ICA ave ⁻¹ (kg/kg)	1.784 ^a	1.585 ^b	1.568 ^b	1.487 ^c	1.865 ^a	1.675 ^b	1.679 ^b	1.621 ^b

* = Cálculo aproximado obtenido a través del consumo total de alimento ofrecido a los 26,000 pollos de engorda (50% machos y 50% hembras) por ciclo; Literales a, b, c= indican diferencia (P<0.05) dentro de fila.

Para el caso de la semana cinco (fase de desarrollo), el comportamiento del PC al finalizar dicha semana fue de 1.953 kg para los machos y de 1.803 kg para las hembras; valores que muestran el potencial genético de las aves bajo el sistema de producción analizado y específicamente en el ciclo tres (Tabla 14). En este sentido se pudo determinar que en este ciclo (tres) fue donde hubo un incremento de CA (3.253 y 3.028kg para machos y hembras, respectivamente), ICA (1.500 y 1.679kg/kg para machos y hembras, respectivamente) y GPD (95 y 94 g para machos y hembras, respectivamente). No obstante que, el ICA del ciclo tres fue igual al de las aves del ciclo dos en este no se reflejó un incremento de GPD ni del PC (Tabla 14).

En cuanto a TIC y HIC, estas se mantuvieron cercana a los 24°C y la humedad a 43% en el ciclo tres (Tabla 18), en comparación con las temperaturas y humedades registradas en el resto de los ciclos evaluados; donde, la HIC fue $\geq 60\%$ (Tabla 15 y Figura 9) y al contrastar estos resultados con el diagrama biespacial, se encontró que la humedad (Min, HIC, Max), Tmin y el mes se encontraron a la derecha (porción positiva) en la dimensión uno, lo cual concuerda con los resultados antes mencionados (Figura 10).

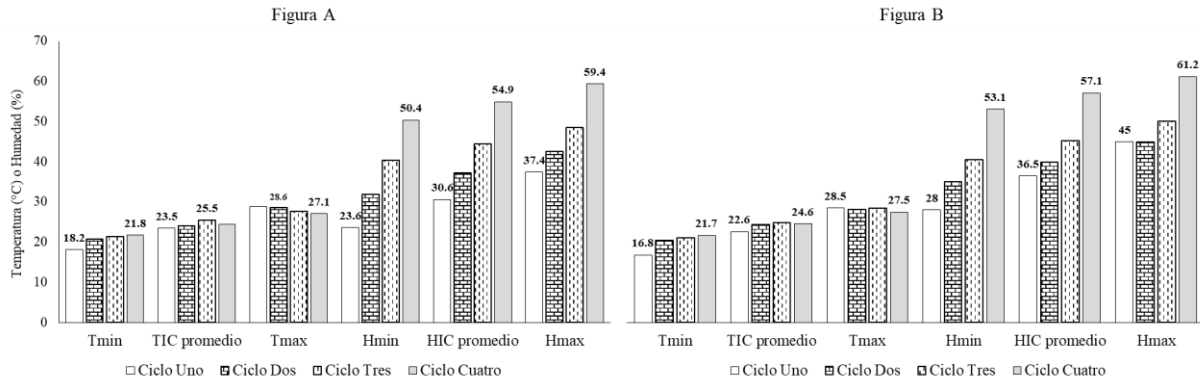


Figura 9. Temperatura (°C) y humedad (%) interna de caseta, durante la fase de desarrollo, de acuerdo con el ciclo y sexo: Machos (Figura A) y Hembras (Figura B)

Para el caso de la dimensión dos, las principales variables que lo conformaron (TIC, Tmin y GPD) se ubicaron (en el diagrama bi espacial) a la derecha, de forma positiva y mayores al 80% (Figura 10). Lo que sugiere un efecto de la temperatura y de la humedad dentro de la caseta sobre la expresión del crecimiento de los pollos de engorda. Aspecto que corroboró con el análisis de superficie de respuesta (Figura 11).

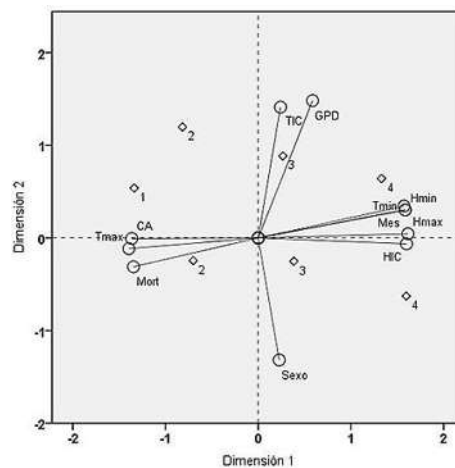


Figura 10. Diagrama bi espacial de las variables que conforman los componentes principales para la fase de desarrollo

En cuanto a los coeficientes de regresión ($P < 0.05$) (Figura 11), estos permitieron establecer que en la cuarta semana de producción (fase de desarrollo) la máxima respuesta del PC (1.250 kg) del pollo de engorda bajo condiciones comerciales e independientemente del sexo, fue con TIC de 27°C y HIC de 45%. Mientras que, para la semana cinco de producción, se estimó una máxima respuesta de PC (1.900 kg ave⁻¹) bajo 22°C y 52% de humedad (Figura 11).

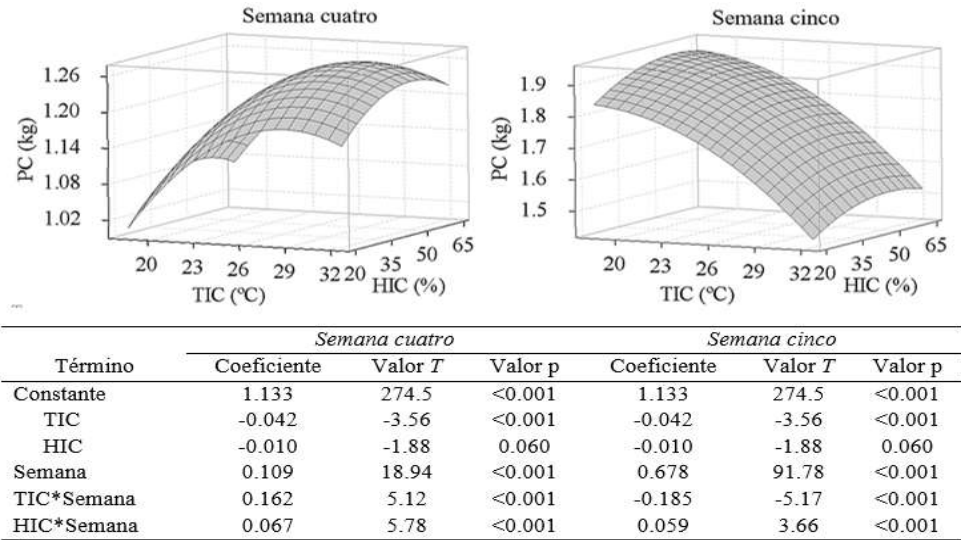


Figura 11. Superficie de respuesta estimada para el peso corporal (PC), independientemente del sexo, en relación al efecto Temperatura (TIC) y Humedad (HIC) interna de caseta durante la fase de Desarrollo (Semana cuatro y cinco)

El análisis de superficie de respuesta, por sexos separados, mostró que durante la semana cuatro, la máxima respuestas del PC para machos (1.351 kg ave⁻¹) sería bajo 29°C y humedad del 41%; mientras que para hembras dicha respuesta (1.243 kg ave⁻¹) se obtendría a 28°C con 56% de humedad (Tablas 16). Para la semana cinco de producción, la máxima respuestas del PC para machos (1.949 kg ave⁻¹) se obtiene con 23.5°C y 46.6% de humedad (Tabla 16); para las hembras, la máxima respuesta (1.809 kg ave⁻¹) sería a 25°C y 48% de humedad (Tabla 16).

Tabla 16. Valores de optimización de respuesta para peso corporal (PC) en relación a la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna en casetas para machos y hembras durante la fase de desarrollo

Rangos	Semana 4			Semana 5		
	Temperatura (°C)	Humedad (%)	PC (kg)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	PC (kg)
	27*	45*	1.250	22.0*	52.0*	1.900
Machos						
Mínimos	17.0&	20.0&	0.712	14.0&	20.0&	0.121
	25.3<	56.0<	1.333	22.0<	61.0<	1.933
Óptimos	29.0^	41.0^	1.351**	23.5^	46.6^	1.949**
Máximos	26.3&	29.0&	1.213	25.0&	20.0&	1.575
	31.4<	62.0<	1.211	31.0<	68.0<	0.753
Hembras						
Mínimos	14.3&	20.0&	0.522	15.0&	28.0&	0.416
	23.0<	62.0<	1.120	25.0<	59.0<	1.789
Óptimos	28.0^	56.0^	1.243**	25.0^	48.0^	1.809**
Máximos	26.0&	44.0&	1.210	26.9&	36.0&	1.619
	31.1<	67.0<	1.110	30.9<	62.0<	1.278

*= valores de humedad y temperatura para peso óptimo independientemente del sexo; &= valores mínimos registrados para humedad y temperatura; <= valores máximos registrados para humedad y temperatura; ^= valores de humedad y temperatura para peso óptimo; **= peso óptimo.

8.4 Fase de finalización: en esta fase (del día 37 al 42 del ciclo) las aves del ciclo tres, independientemente del sexo, fueron las que proporcionaron una materia prima de mayor calidad (pollos de 1879 g). Aspecto que se mantuvo hasta el final de dicha fase (PC de 2.569 kg ave⁻¹) (Tabla 17); caso contrario se observó en las aves del ciclo uno, las cuales finalizaron con los menores (P<0.05) pesos corporales tanto en machos (2.371 kg) y hembras (2.013 kg), comportamiento que se observó a partir de la semana tres de producción (Tabla 17); no obstante, los pesos finales en las aves del ciclo dos y cuatro no presentaron diferencia (P>0.05) significativa (Tabla 17).

Tabla 17. Media de mínimos cuadrados para peso corporal (kg) durante la fase de finalización de acuerdo al ciclo y sexo

	<i>Ciclo de producción</i>			
	<i>Uno</i>	<i>Dos</i>	<i>Tres</i>	<i>Cuatro</i>
	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$	$\bar{X} \pm E.E.$
<i>Peso (Producto "C")*</i>	1.682 ^a ± 0.007	1.804 ^b ± 0.007	1.879 ^c ± 0.007	1.851 ^d ± 0.007
	<i>Semana seis</i>			
<i>Machos</i>	2.371 ^a ± 0.014	2.539 ^b ± 0.009	2.657 ^d ± 0.009	2.629 ^d ± 0.009
<i>Hembras</i>	2.013 ^a ± 0.014	2.405 ^b ± 0.009	2.481 ^c ± 0.009	2.326 ^d ± 0.009
<i>Promedio</i>	2.192 ^a ± 0.014	2.472 ^b ± 0.014	2.569 ^c ± 0.014	2.477 ^b ± 0.014

*= Peso promedio estimado de la fase de Desarrollo (Producto "C"); Literales a, b, c= indican diferencia significativa (P<0.05) dentro de fila.

De acuerdo al análisis de componentes principales las variables evaluadas se agruparon en dos componentes; no obstante, a diferencia de las fases anteriores (pre-inicio, inicio y desarrollo) el primero de ellos, explico más de la mitad (55.1%) de la variación total; el cual se conformó (de forma positiva) por las variables: humedad (min, promedio y max) y periodo de evaluación (mes); y de forma negativa, por las variables CA, Tmax y Tpromedio (Tabla 18) y el segundo de los componentes estuvo conformado por las variables temperatura mínima (Tmin) y GPD, ambas variables de forma positiva; componente que explico el 18.4% de la variación total durante la fase de finalización (Tabla 18).

Tabla 18. Variables que conforman cada uno de los componentes principales durante la fase de finalización

Componente	Variabes	Valor de la contribución	% Variación	Variación Total (%)
<i>I</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		
	Temperatura mínima	0.97		
<i>II</i>			18.4	

Ganancia de peso diaria		0.82							
Correlaciones (r) de las variables transformadas dentro de los componentes principales									
	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
Dimensión	1.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	1.00
Autovalor	7.865	0.66	0.42	0.093	0.03	0.005	0	0	0

De las variables mencionadas en el primer componente, destacaron las correlación entre TIC-HIC ($r=-0.86$), Tmax-CA ($r=0.94$) y Hmax-CA ($r=-0.99$), Sin embargo, otras correlaciones de importancia fueron menores: Tmin-GPD ($r=0.62$) y Hmax-GPD ($r=0.17$). Estos resultados se pueden apreciar mejor cuando se analizan las GPD de las aves de acuerdo con el ciclo y sexo durante la fase de finalización (Tabla 19).

Tabla 19. Temperatura (TIC), Humedad (HIC), consumo (kg)* y conversión* (kg/kg) de alimento durante la fase de finalización de acuerdo al sexo, semana y ciclo de producción

Variable	Semana seis			
	Ciclo de producción			
	Uno	Dos	Tres	Cuatro
	Machos			
TIC (°C)	22.2 ^a	23.5 ^b	21.9 ^c	20.8 ^d
HIC (%)	38.1 ^a	42.2 ^b	47.0 ^c	58.9 ^d
GPD ^{diaria} (g)	86 ^a	97 ^b	100 ^b	87 ^c
CA ave ⁻¹ (kg)	4.931	4.839	4.996	4.688
ICA ave ⁻¹ (kg/kg)	2.019 ^a	1.815 ^b	1.755 ^c	1.663 ^c
	Hembras			
TIC (°C)	22.2 ^a	23.3 ^b	21.8 ^c	21.4 ^d
HIC (%)	42.1 ^a	44.6 ^b	44.6 ^b	58.5 ^c
GPD ^{diaria} (kg)	60 ^a	93 ^b	97 ^b	82 ^c
CA ave ⁻¹ (kg)	4.484	4.389	4.355	4.087
ICA ave ⁻¹ (kg/kg)	2.348 ^a	1.916 ^b	1.883 ^c	1.885 ^c

* = Cálculo aproximado obtenido a través del consumo total de alimento ofrecido a los 26,000 pollos de engorda (50% machos y 50% hembras) por ciclo. Literales a, b, c= indican diferencia ($P<0.05$) dentro de fila.

La GPD fue mayor ($P<0.05$) en las aves del ciclo tres (100 g para machos y 97 g para hembras), donde la temperatura y humedad se mantuvieron constantes cercanas a los 22°C y la humedad al 45% (Figura 12). Así mismo, el CA (kg) e ICA (kg/kg), fueron afectadas ($P<0.05$) al incrementarse la HIC ($\geq 50\%$) tanto en machos (4.688 kg y 1.665 kg/kg) como en hembras (4.087

kg y 1.885 kg/kg) del ciclo cuatro (Tabla 19). No obstante, el ICA del ciclo cuatro fue igual al de las aves del ciclo tres, sin embargo, se reflejó un incremento mayor de la GPD en ciclo tres (Tabla 19).

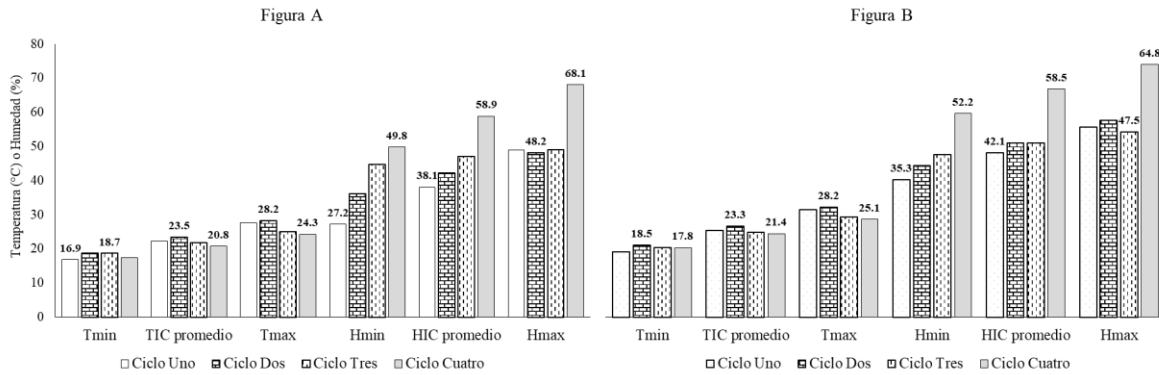


Figura 12. Temperatura (°C) y humedad (%) interna de caseta, durante la fase de finalización, de acuerdo con el ciclo y sexo: Machos (Figura A) y Hembras (Figura B)

Al contrastar las variables antes mencionadas en el diagrama biespacial (Figura 13), se observó que las variables humedad (min, promedio y max), se agruparon a la izquierda (en forma negativa) y para el caso de la temperatura (promedio y máximas) y CA, estas se localizaron a la derecha (en forma positiva) dentro de la dimensión uno. Para el caso de la dimensión dos, únicamente se agruparon las variables Tmin y GPD en forma positiva (Figura 13). Lo que sugiere un efecto de la TIC y HIC sobre la expresión del crecimiento (PC) de los pollos de engorda, durante la última semana de producción (Finalización). Aspecto que se corroboró con el análisis de superficie de respuesta (Figura 14).

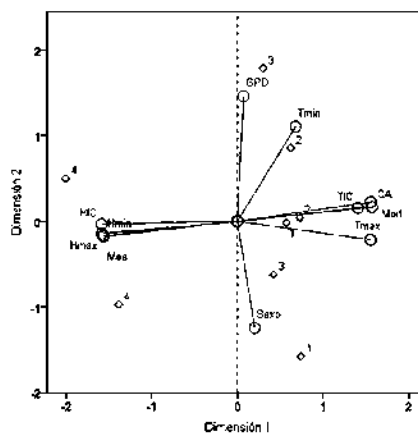


Figura 13. Diagrama biespacial de las variables que conforman los componentes principales para la fase de finalización

Con los coeficientes de estimación en la Figura 14, se pudo establecer que la máxima respuesta del desarrollo (PC) del pollo de engorda, durante la etapa de finalización (semana seis de

producción), independientemente del sexo, el mejor peso corporal (2.500 kg ave⁻¹) se alcanzaría a una temperatura de 20°C con una humedad de 50% (Figura 14).

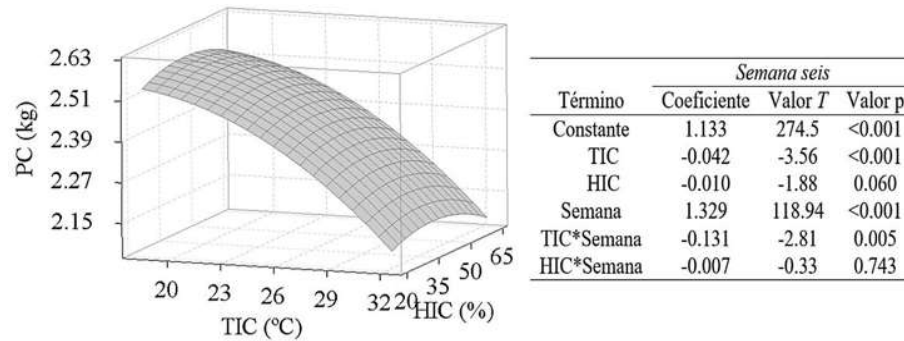


Figura 14. Superficie de respuesta estimada para el peso corporal (PC), independientemente del sexo, en relación al efecto temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta durante la fase de finalización (semana seis)

Para el caso de casetas para machos, la máxima respuesta del desarrollo del pollo de engorda (2.632 kg ave⁻¹) se alcanzaría a una TIC de 22.5°C y HIC de 49.5% (Tabla 20), no obstante, dicha respuesta se vería afectada (1.757 kg ave⁻¹) a temperaturas y humedades promedio de 13.3°C y 21%, respectivamente (Tabla 20). Para el caso de la máxima respuesta en caseta para hembras, esta se obtendría a una temperatura de 23°C con una humedad de 49% (Tabla 20) y al igual que en casetas para machos, la respuesta mínima se registraría cuando las temperaturas y humedades llegaran a 14.6°C y 25%, respectivamente (Tabla 20).

Tabla 20. Valores de optimización de respuesta para peso corporal (PC) en relación a la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna en casetas para machos y hembras durante la fase de finalización

Rangos	Temperatura (°C)	Humedad (%)	PC (kg)
	<i>Semana seis</i>		
	20.0*	50.0*	2.500
	Machos		
<i>Mínimos</i>	13.3&	21.0&	1.757
	20.5<	60.0<	2.600
<i>Optimo</i>	22.5^	49.5^	2.632**
<i>Máximos</i>	23.3&	42.0&	2.543
	28.9<	71.0<	2.280
	Hembras		
<i>Mínimos</i>	14.6&	25.0&	1.926
	21.0<	59.0<	2.339
<i>Optimo</i>	23.0^	49.0^	2.420**
<i>Máximos</i>	24.0&	41.0&	2.345
	29.9<	68.0<	2.276

*= valores de humedad y temperatura para peso óptimo independientemente del sexo; &= valores mínimos registrados para humedad y temperatura; <= valores máximos registrados para humedad y temperatura; ^= valores de humedad y temperatura para peso óptimo; **= peso óptimo.

9. Discusión

Actualmente, en la producción de pollo de engorda, se recurre a la utilización de líneas genéticas especializadas para producir la mayor cantidad de proteína animal (kg) en un menor tiempo. Para estas líneas se ha determinado un potencial del crecimiento (peso corporal) de 2.995 y 2.511 kg, para machos y hembras, respectivamente; en ≤ 42 días (Cobb, 2014; Ross; 2014), bajo condiciones de manejo óptimas (experimentales): adecuadamente estrategias de nutrición, bioseguridad, sanidad, temperaturas, humedad e infraestructura (Chica *et al.*, 2010; Gregory, 2010). Factores estos, interdependientes que garantizan el confort para un desarrollo adecuado de las aves; por lo que, si alguno de ellos no se encuentra en un nivel óptimo el estrés causado en este tipo de animales puede limitar su potencial genético (Aviagen, 2009; Nardone *et al.*, 2010).

Para controlar, manipular o evitar factores potenciales que limiten la expresión del potencial genético de los pollos de engorda, la ingeniería de los procesos es una herramienta que debe utilizarse dentro de los sistemas de producción (Rivera y Durán, 2004). Aspecto que no ocurrió en el sistema evaluado en la presente investigación (ambiente semicontrolado). La ingeniería de los procesos prevé, que cada producto generado a lo largo de cada fase productiva se convertirá en la materia prima para la siguiente fase (producto “A” de la primera fase = insumo “B” de la siguiente fase). Pero para mantener o incrementar o corregir la calidad de cada producto se requiere evaluar el grado de control en cada proceso; es decir, retroalimentar cada fase y el total de las fases para determinar la ruta crítica dentro del sistema de producción (ciclo productivo) (Figura 15).

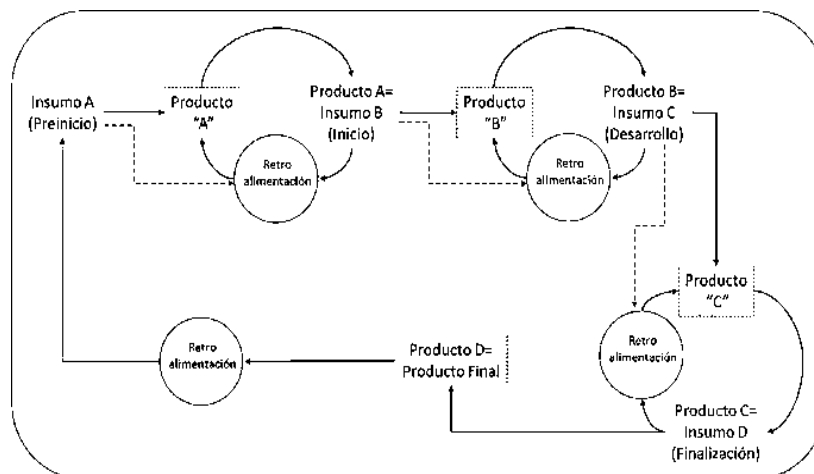


Figura 15. Esquema de los procesos de producción de acuerdo con la etapa de crecimiento del pollo de engorda

Al realizar el análisis de cada uno de los factores que integraron el proceso de producción (en la presente investigación) se pudo determinar que el componente nutrición (Tabla 1 y 2), fue uno de los factores que cumplió con los requisitos mínimos establecidos (bajo condiciones controladas) para el desarrollo de las líneas genéticas del pollo de engorda, específicamente en las fases productivas de pre-inicio (23% de proteína), inicio (22% de proteína) y desarrollo (20% de proteína); ya que, durante la última fase de producción (Finalización) el porcentaje de proteína fue menor (1%) en la dieta proporcionada a las aves (Cobb, 2014; Ross; 2014).

Everaert *et al.*, (2010) determinaron que, el efecto de limitar el nivel proteínico en las dietas para los pollos de engorad tiene un impacto mayor a edades tempranas (1-21 días), por lo que sugieren niveles de proteína entre 23.1 y 26.7% para que no se afecte la ingesta diaria de alimento (30 y 29 g ave⁻¹ día⁻¹), ni la conversión alimenticia (1.09 kg/kg, para ambos grupos). No obstante, la utilización y adición de aminoácidos (AA) sintéticos en las dietas actuales, ha permitido que la fluctuación del nivel proteínico en los ingredientes no afecte directamente los indicadores productivos (Dari *et al.*, 2005; Pesti, 2009; Gómez *et al.*, 2011). En este sentido, se ha demostrado que es factible la disminución de 2 (Terrazas *et al.*, 2005; Baker, 2008) e incluso 4 puntos porcentuales en los niveles de proteína sugerido por el NRC sin afectar la respuesta productiva de las aves durante los 42 días que dura el ciclo productivo (Aftab *et al.*, 2006; Dozier *et al.*, 2006; Corzo *et al.*, 2005). Aspecto que se observó en los resultados obtenidos en esta investigación, específicamente en lo que se refiere a la cantidad de AA esenciales presentes en las dietas suministradas; estas cumplieron con los requerimientos en todas las fases de producción (Tabla 2).

Otro punto importante en el desarrollo de los pollos de engorda es el fotoperiodo y la densidad (kg/m²) a los cuales son expuestos durante su crecimiento (Dennis *et al.*, 2004 y Rubio *et al.* 2015). Factores evaluados dentro del sistema de producción (Figuras 14 y 15): 12h luz/12h oscuridad durante todo el ciclo y densidad de 42 kg/m² a lo largo de los 42 días de producción. Con relación a estas variables Costa (2015) y Long *et al.* (2015), determinaron que, la reducción del fotoperiodo día⁻¹, de 24 a 12 horas de luz, tiene un efecto negativo (P>0.01) sobre la tasa de crecimiento (2.640 vs 2.400 kg ave), debido a un menor consumo de alimento (4.600 vs 4.100 kg/ave).

Verspecht *et al.* (2011), reportan disminución de CA ave⁻¹ (282 g a los 42 días de producción) en pollos expuestos a 24 h luz con densidades de 10 aves/m² vs 25 aves/m². No obstante, la reducción del fotoperiodo y la densidad (m²) son técnicas que actualmente se utilizan para disminuir la mortalidad (<5%) relacionada a problemas metabólicos (Balog *et al.*, 2003; Ozkan *et al.*, 2010; Mohammad *et al.*, 2015). Al respecto, la mortalidad registrada en los ciclos evaluados se mantuvo siempre por debajo del 5% (Tabla 3). Lo que sugiere que, el fotoperiodo y la densidad, utilizados en el sistema analizado, no fueron variables que limitaran la expresión del potencial genético de los pollos bajo el sistema de producción comercial analizado.

Dentro de los sistemas comerciales de producción de pollo de engorda, el PC del pollito al nacimiento juega un papel importante en el desempeño productivo dichos sistemas (Figura 16 y 17); por lo que, esta variable es un factor determinante (materia prima de calidad) para el desarrollo del pollo de engorda. En este sentido, la variabilidad observada en el PC del pollito al entrar al sistema (± 3.6 g) fue, posiblemente, lo que marcó las diferencias ($p > 0.05$) en la productividad de los ciclos evaluados (Tabla 4) y, para aspectos de la ruta crítica del proceso de producción en este sistema, fue: el punto crítico inicial dentro del proceso productivo del sistema. Puesto que, solamente el PC del pollito (1 día de edad) en los ciclos uno (42 g) y cuatro (41 g), fue de mayor calidad ($P < 0.05$), con respecto a la materia prima de los ciclos dos y tres (Tabla 4).

El primer punto crítico encontrado dentro del proceso de producción, en el sistema analizado, no puede ser resultado por el sistema de recepción, sin embargo, dicho sistema puede y debe condicionar la entrada (compra) al sistema a pollito de un día de nacidos que no cumplan con un peso ≤ 40 g. En este sentido, Boerjan, (2002) y Decuypere *et al.* (2002) determinaron que la uniformidad del PC (40 g ave) al nacimiento está determinada por factores extrínsecos a la recepción del pollito en granja (caseta); tales como: la edad de las reproductoras, manejo de incubación, nacimiento y traslado incubadora-caseta (tiempos de ayuno) (Toudic, 2006; Oviedo *et al.*, 2009).

El segundo punto crítico dentro del proceso de producción analizado fue, la inexistencia de retroalimentación (por parte del personal) no solo en la fase de pre-inicio, sino en todas las fases de producción y en todos los ciclos analizados; de haber existido, la variabilidad del peso del pollito al entrar al sistema y durante las fases consecutivas del proceso productivo, no se hubiera

observado. El tercer punto crítico observado en el proceso de producción fue la ineficiencia para controlar las condiciones ambientales (TIC y HIC) bajo las cuales estuvieron sometidas las aves; mismas que, incrementaron la variabilidad en el PC del pollo de engorda durante su desarrollo (Figura 18).

Fairchild (2014), establece que los principales factores que limita el crecimiento del pollo de engorda, son los ambientales y, dentro de estos, está la temperatura (TIC) y humedad (HIC) interna de caseta. De acuerdo con la Figura 18, se pudo establecer que la ineficiencia en el control de la temperatura y humedad interna de la caseta (en casetas con control manual de criadoras a gas y cortinas) permitió que la variabilidad ambiental (clima) externa a la caseta se manifestara dentro de la caseta, provocando variabilidad en el PC final del pollito en la fase de pre-inicio (122 a 144 g ave) limitando la expresión del potencial genético del pollo de engorda. Caso contrario cuando el manejo de la TIC y HIC es eficiente el PC final del pollito en la fase de pre-inicio se incrementa y mantienen homogéneo (149 a 152 g) a pesar de la variabilidad o estabilidad del ambiente externo a la caseta (Figura 18).

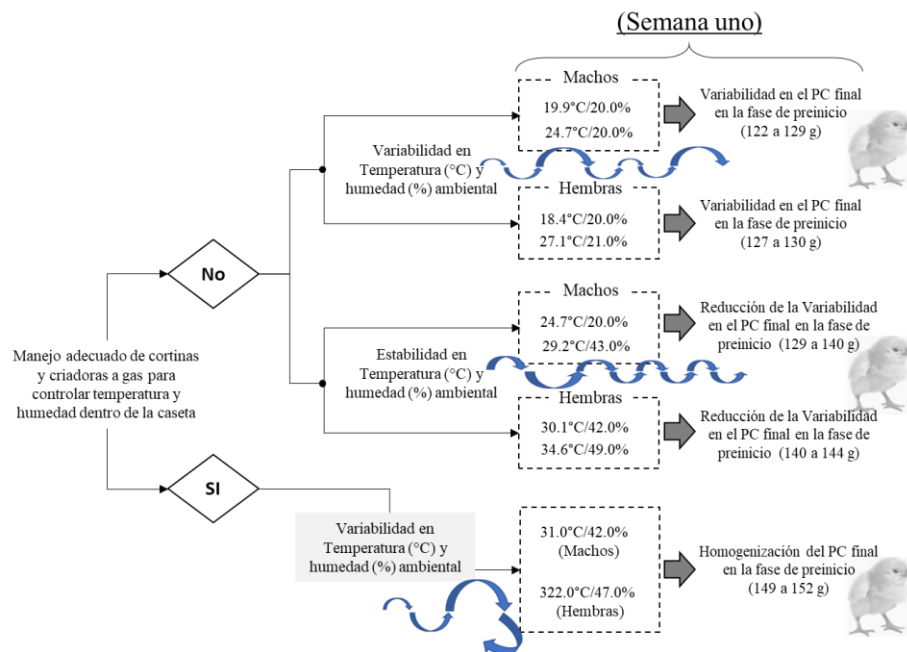


Figura 16. Esquema del efecto del manejo de cortinas y criadoras a gas para controlar la temperatura (°C) y humedad (%) dentro de la caseta sobre el peso final del pollito en la fase de pre-inicio

“Limitantes del potencial genético del pollo de engorda (*Broiler*) en condiciones comerciales, determinadas bajo la metodología de la ruta crítica”

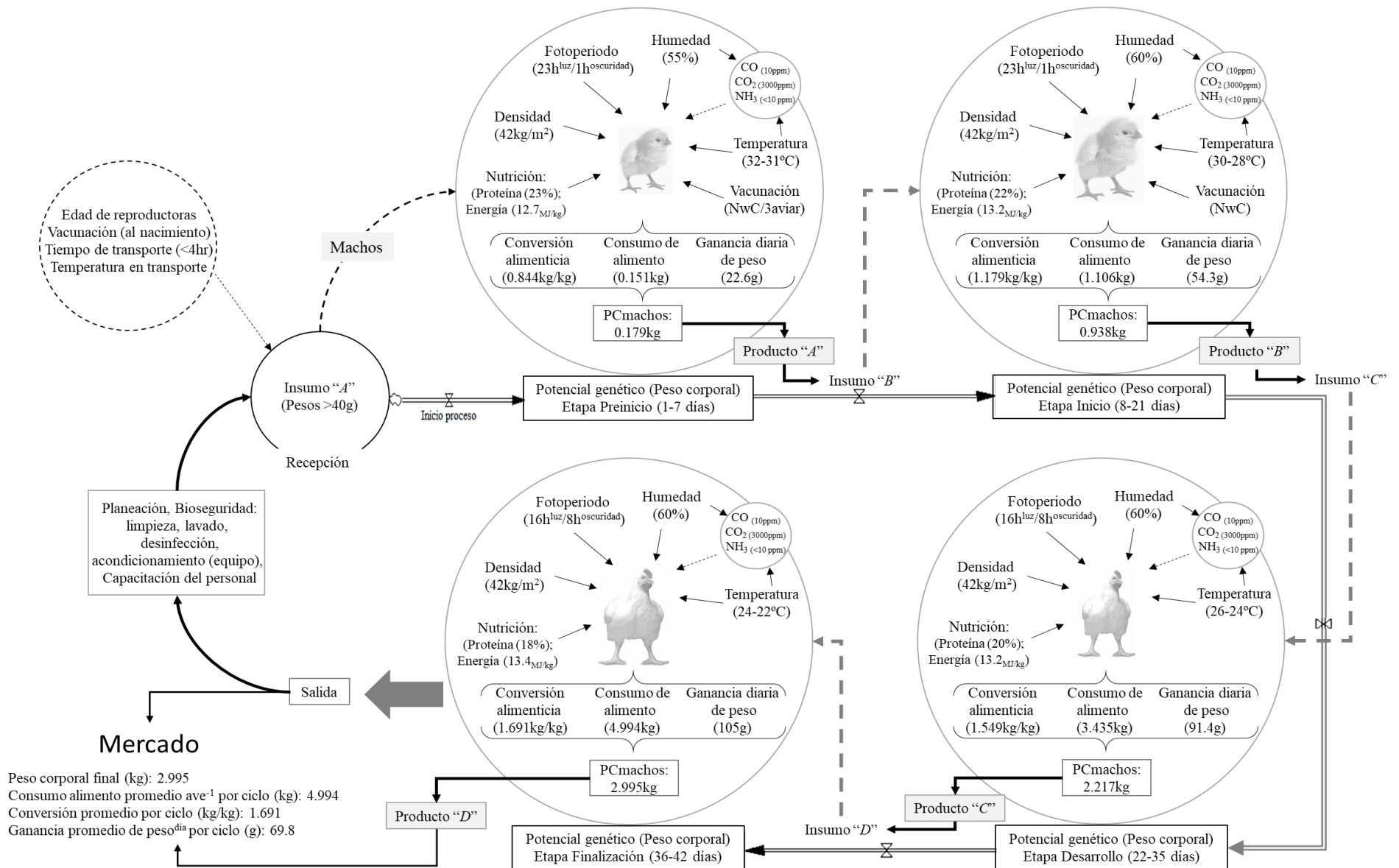


Figura 17. Esquemas del proceso productivo bajo condiciones ambientales óptimas para la expresión del potencial genético del pollo de engorda (Machos).

“Limitantes del potencial genético del pollo de engorda (*Broiler*) en condiciones comerciales, determinadas bajo la metodología de la ruta crítica”

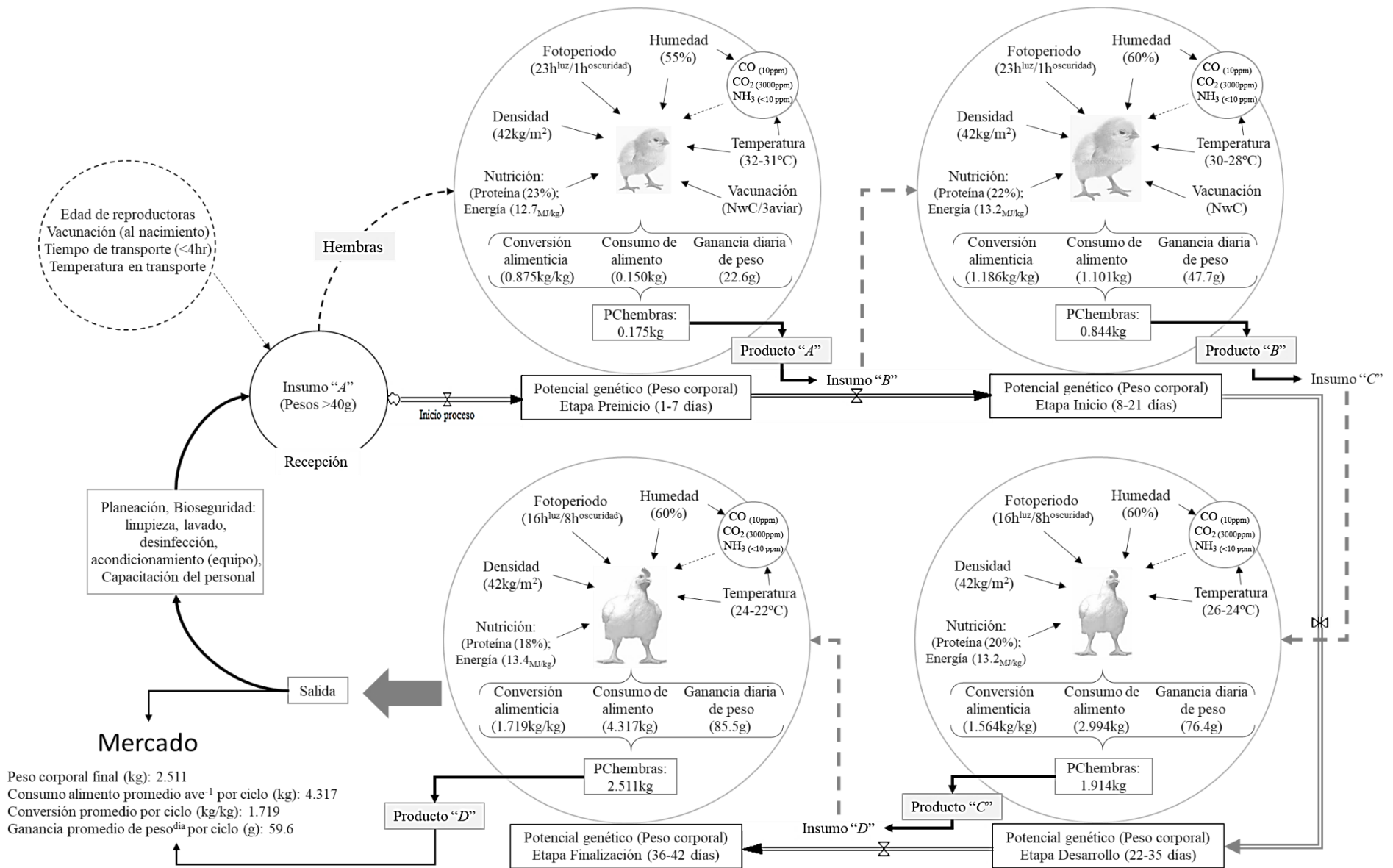


Figura 18. Esquemas del proceso productivo bajo condiciones ambientales óptimas para la expresión del potencial genético del pollo de engorda (Hembras).

De acuerdo con los resultados de la presente investigación, los valores de TIC ($^{\circ}\text{C}$) y HIC (%) registrados durante la etapa de pre-inicio fueron menores ($27.3^{\circ}\text{C}/30.7\%$ y $28.0^{\circ}\text{C}/33.1\%$), en casetas para machos y hembras, respectivamente, a los óptimos estimados para el desarrollo del pollito en dicha fase (Figura 3). Por lo que, el no proporcionar las condiciones ambientales requeridas a los pollitos a edades tempranas (1-21 días) expone a estos a un inadecuado crecimiento (Estrada *et al.*, 2007); ya que, a esta edad, el pollo de engorda no es capaz de regular su temperatura corporal; debido a que su sistema nervioso central, aún no se desarrolla completamente (Lin *et al.*, 2005).

Zhang *et al.* (2016) determinaron que, dentro de los mecanismos homeostáticos para contrarrestar las bajas TIC, el pollo de engorda recurre al incremento del gasto energético metabólico a través del incremento del consumo de alimento. Aspecto que concuerda con lo observado en esta investigación, principalmente en hembras: 19 g más en CA ave^{-1} (Figuras 14 y 15). Silva *et al.* (2009) y Müller *et al.* (2013) encontraron que las aves bajo temperaturas de 26°C o a 31°C con humedades de 50% y fotoperiodo de 18 h luz/6 h oscuridad en la primera semana de vida, presentan CA e ICA de 126 g ave^{-1} y 1.070 kg/kg, respectivamente. Variables que se reflejaron en el PC promedio, al día siete de producción: 157 g ave^{-1} bajo 26°C vs 177 g ave^{-1} bajo 31°C . Sin embargo, este efecto puede variar de acuerdo con el peso inicial con el que entró el pollo al inicio de la fase (Tona *et al.*, 2003), tal como se observó en esta investigación: el PC promedio al final de la fase de pre-inicio fue mayor (0.158 kg ave^{-1}) en el ciclo cuatro, mismo que inicio (PC) con 0.041 kg ave^{-1} (Tabla 4).

Aunado a la variabilidad del PC promedio final en la fase de pre-inicio (Tabla 4), la TIC y HIC durante la fase siguiente (inicio) presentaron fluctuaciones ($P < 0.05$) en los ciclos evaluados (Figura 6 y 19). Siendo en el ciclo uno, donde la TIC promedio (23.6°C) y la HIC (27%) fue menor a lo establecido (Figura 6). Varmaghany *et al.* (2013) reportaron que, TIC de 25 y 18°C con HIC constante de 50%, provoca menor GPD en los pollos (hasta 13.5 g ave^{-1}). Pero, temperaturas de $18^{\circ}\text{C}/50\%$ de humedad incrementan CA e ICA en las aves. Resultados similares reportaron en pollos alojados en casetas con TIC de 18°C y 26°C , aunque no se afectó (< 0.05) la GPD a los 21 días de edad (Özkan *et al.*, 2010; Kamely *et al.*, 2015). Por el contrario, en esta investigación la variabilidad climatológica de la región influyó directamente en la TIC y HIC, mismas que afectaron al PC al final de la fase de machos y hembras (Figura 19).

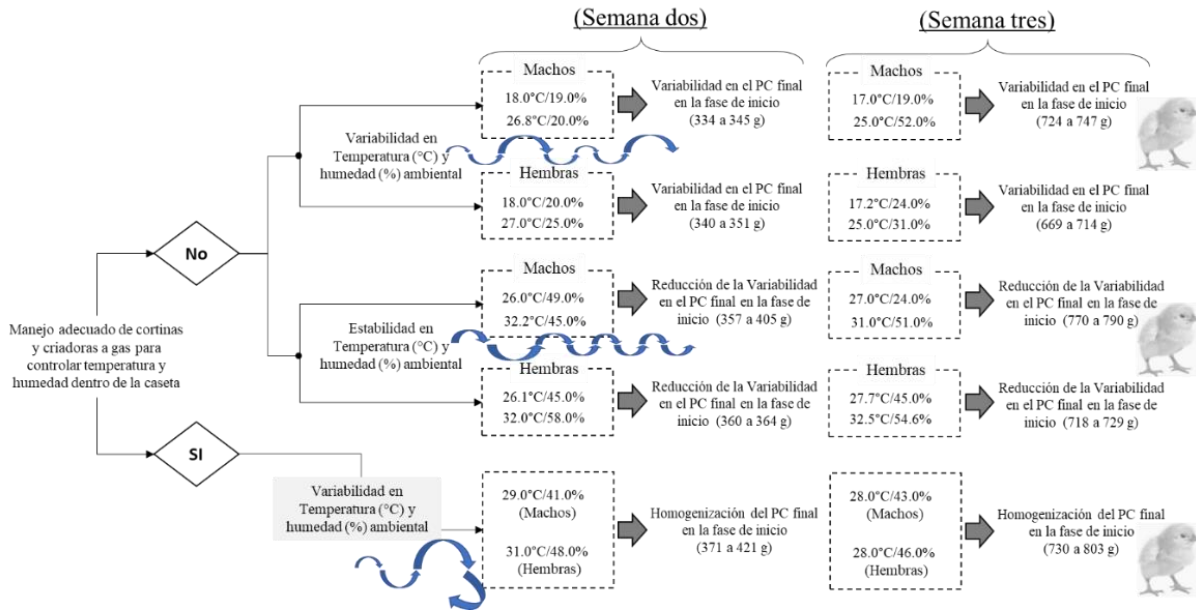


Figura 19. Esquema del efecto del manejo de cortinas y criadoras a gas para controlar la temperatura (°C) y humedad (%) dentro de la caseta sobre el peso final del pollito en la fase de inicio

Se puede observar que (Figura 19), cuando se logra controlar TIC y HIC a pesar de variabilidad ambiental externa a la caseta, el PC de los pollos en fase de inicio se incrementa y presenta mayor grado de homogeneidad en cada una de las semanas de producción que comprenden la fase de inicio: 730 a 803 g ave⁻¹ en la semana dos y tres, respectivamente. En este sentido, Chowdhury *et al.*, 2012 han determinado que la exposición del pollo de engorda (7-21 días de edad) a temperaturas mayores a la zona de termoneutralidad, reduce la ingesta de alimento (25 g ave⁻¹ día⁻¹) con la finalidad de suprimir la producción de calor metabólico. Takahashi *et al.* (2005), sugieren que en la respuesta termorreguladora del pollo de engorda, la hormona liberadora de tirotrópina puede variar en etapas neonatales y esta depende de la estimulación del eje hipotálamo-pituitario-suprarrenal en lugar del eje Hipotálamo-pituitario-tiroides, lo cual tiene la capacidad de reducir hasta en un 4% en la ingesta de energía bruta durante las primeras semanas de vida (Özkan *et al.*, 2010; Elnagar *et al.*, 2010).

Los resultados antes mencionados durante la fase de inicio, por sexo y ciclo, determinaron que la temperatura (TIC) y la humedad (HIC) posiblemente fueron la principal causa de variación en los indicadores de producción: consumo y conversión de alimento. No obstante, pese a no alcanzarse la máxima expresión del potencial genético (PC) (0.900 kg ave), las aves del ciclo

cuatro (768 g, producto “B”) proveyeron la materia prima de mejor calidad (independientemente del sexo; Tabla 9 para el inicio del siguiente proceso (fase de desarrollo).

Dentro de la fisiología del pollo de engorda > 21 días de edad, se observa que posee los mecanismos desarrollados para estabilizar su temperatura interna (41°C): el sistema nervioso central se ha desarrollado y el emplume es total (Estrada *et al.*; 2007). No obstante, el factor ambiente, principalmente la TIC y HIC sigue siendo un factor de importancia en el desarrollo del pollo de engorda (Ferket y Gernat 2006; Özkan *et al.*, 2010; Willemsen *et al.*, 2010; Lara y Rostagno, 2013). Aspecto que se observó al analizar las correlaciones entre las variables ambientales (internas de la caseta) y las variables productivas: TIC (Tmin, TIC y Tmax) y Hmin se correlacionaron de manera significativa ($r > 70\%$) con CA y GPD (Tabla 15). Lo que posiblemente limitó el potencial genético (PC) del pollo de engorda, en el sistema evaluado. Puesto que, se pudo establecer que durante la fase de desarrollo, fueron las temperaturas (<17°C) y humedades (<20%) las que ocasionaron mayor grado de variabilidad del PC del pollo de engorda: 121 a 1278 g ave⁻¹ (Figura 20). Caso contrario, cuando la variabilidad ambiental (clima) se mantiene con cierta estabilidad (24°C/47% de humedad) se alcanzaría mayor homogeneidad en los pesos de las aves durante la fase de desarrollo (1809 a 1949 g ave) (Figura 20).

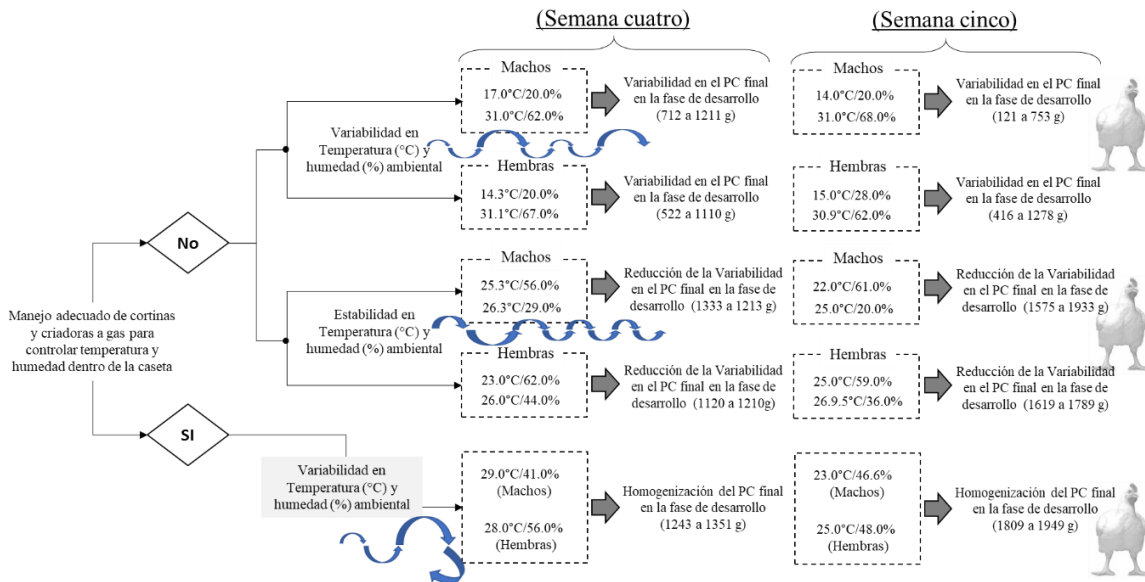


Figura 20. Esquema del efecto del manejo de cortinas y criadoras a gas para controlar la temperatura (°C) y humedad (%) dentro de la caseta sobre el peso final del pollito en la fase de desarrollo

No obstante, la solución del punto crítico de este sistema (control de TIC y HIC), dependerá directamente del manejo de los paquetes tecnológicos (corinas externas) para controlar el ambiente interno de la caseta, independientemente de las condiciones ambientales externas a la caseta. Estrada *et al.* (2007) y Tolentino *et al.* (2008) determinaron que a los 35 días de edad; la expresión máxima del potencial de crecimiento del pollo de engorda (1.492 kg/ave) se obtiene con TIC de 25°C y HIC promedio de 50%. Pishnamazi *et al.* (2015) y Shao *et al.* (2016), reportaron que la máxima ganancia de peso diaria (102 g ave⁻¹) se obtiene a 22°C. No obstante cuando el pollo se expone a temperaturas fuera de 22°C (10 y 30°C) la GPD disminuye hasta 92 y 82 g ave⁻¹, respectivamente. Dicha variación en TIC de igual forma incrementó el consumo (3.815 kg/ave) y conversión (1.784 kg/kg) de alimento cuando la TIC disminuyó hasta los 19°C vs TIC de 25°C: 3.404 kg ave⁻¹ y 1.760 kg/kg (López *et al.*, 2013; Varmaghany *et al.*, 2013; Shao *et al.*, 2016). Resultados que concuerdan con lo encontrado en la presente investigación: la GPD fue menor (0.068 kg ave⁻¹), en el ciclo uno, bajo condiciones de 23.1°C y humedades del 33.6%; mientras que la máxima expresión de ganancia de peso fue durante el ciclo tres (0.082 kg ave⁻¹), en el cual, la TIC se mantuvo entre los 25°C y la HIC entre 45% (Tabla 17).

En este sentido los resultados mencionados, durante la fase de desarrollo, determinaron, que la máxima expresión del potencial genético del pollo de engorda (1879 g), posiblemente estuvo limitado por la fluctuación de la TIC y de la HIC; donde bajo un ambiente de 24°C y humedad del 44%, se obtuvo la materia prima de mejor calidad (1879 g durante el ciclo tres) para el inicio de la última fase de producción (finalización) la cual duró del día 36 al 42 de producción (Tabla 15).

Durante la fase de finalización, se observó una variabilidad ($P < 0.05$) de TIC desde los 16.9 hasta los 28.2°C; mientras que la humedad (HIC) presentó un rango de variación ($P < 0.05$) de 27.2 hasta 64.8% (Figura 12). Variación que tuvo la capacidad de ocasionar heterogeneidad en el PC del pollo de engorda: 1759 a 2280 g ave⁻¹ (Figura 21). No obstante, al mantenerse un rango de homogeneidad en estas variables (22.5°C y 49% de humedad) el PC se mantendría entre los 2420 a 2632 g ave⁻¹ (Figura 21). El mismo efecto se encontró en CA e ICA ave⁻¹, los cuales incrementaron (4.627kg y 2.111 kg/kg, respectivamente) en las casetas del ciclo uno (TIC y HIC, de 23.1°C y 33.1%, respectivamente). Donde las temperaturas y humedades fueron menores a lo establecido por los manuales de manejo de la línea comercial: 32°C hasta los 22°C

y humedades de 45% a lo largo de los 42 días de producción (Cobb, 2012; Ross, 2012). Caso contrario fue en el ciclo cuatro: las altas humedades (59%) limitaron la GPD (0.089 kg ave⁻¹ (Tabla 25). Para el caso del ciclo tres, en este se observó la máxima expresión del crecimiento (2.569 kg ave) a los 42 días de producción (Tabla 3).

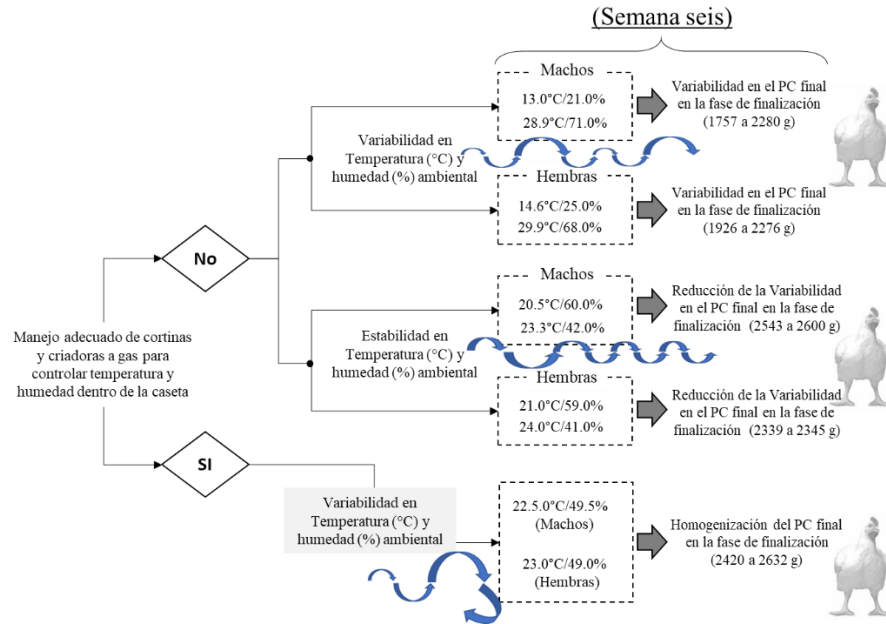


Figura 21. Esquema del efecto del manejo de cortinas y criadoras a gas para controlar la temperatura (°C) y humedad (%) dentro de la caseta sobre el peso final del pollito en la fase de finalización

Estrada *et al.* (2007), Özkan *et al.* (2010), Willemsen *et al.* (2011), Sousa *et al.* (2016) y Saho *et al.* (2016), determinaron que la temperatura y humedad para el máximo desempeño del pollo de engorda, en etapa de finalización, debe ser de 22°C con 50% de humedad; condiciones bajo las cuales se maximiza: CA (169.5 g ave⁻¹), GPD (97.8 g ave⁻¹), PC (2.900 kg ave⁻¹), ICA (1.660 kg/kg).

10. Conclusión

La metodología de la ruta crítica, aplicada en un sistema de producción comercial de pollo de engorda, permite determinar en cada fase del proceso de producción de pollo de engorda, factores que limitan el potencial genético de este tipo de aves. En esta investigación, el primer punto crítico encontrado dentro del proceso de producción no puede ser resultado por el sistema de recepción. Sin embargo, dicho sistema puede y debe condicionar la entrada (compra) al sistema a pollitos de un día de nacidos que no cumplan con un peso ≤ 40 g. El segundo punto crítico es la ineficiencia en el control de las condiciones ambientales dentro de la caseta (TIC y HIC) bajo las cuales estuvieron sometidas las aves; mismas que, incrementan la variabilidad en el PC del pollo de engorda durante su desarrollo. Mientras que el tercer punto crítico, en el proceso de producción, es la inexistencia de retroalimentación (por parte del personal) no solo en la fase de pre-inicio, sino en todas las fases de producción y en todos los ciclos analizados; de haber existido, la variabilidad del peso del pollito al entrar al sistema y durante las fases consecutivas del proceso productivo, no se hubiera observado. Estos puntos críticos, de manera general, tienen la capacidad de limitar el potencial genético (peso corporal) de las aves durante los 42 días de producción. A pesar de que, el sistema de producción analizado cumplió con los requerimientos de nutrición, bioseguridad, y sanidad; ello de acuerdo con los requerimientos establecidos para el pollo de engorda a lo largo de cada una de las fases de producción.

11. Bibliografía

- Aftab, U., Ashra, F.M., Jiang, Z. 2012. Low protein diets for broilers. *World Poult Sci*; 62: 688-701.
- Andrade, I. 2012. Ruta crítica. Gestión y evaluación de proyectos. Artículo de revisión [En línea] <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/ruta-critica#sthash.URNIDTwF.Dpuf>.
- Arantes de Sousa, L.F., Pegoraro, E.L., Alves de Almeida, E., Lunedo R., Furlan R.L., Macari, M. 2016. How heat stress (continuous or cyclical) interferes with nutrient digestibility, energy and nitrogen balances and performance in Broilers. *Livestock Science* 192. Pp. 39–43.
- Arce, M.J., Ávila, G.E., López, C.C., García, E.A., García, G.F. 2005. Efecto de paredes celulares (*Saccharomyces cerevisiae*) en el alimento de pollo de engorda sobre los parámetros productivos. *Téc Pecu Méx* 2005; 43(2):155-162.
- Aviagen. 2009. Manejo del ambiente en el galpón de pollo de engorda. Aviagen inc.
- Baker, D.H. 2003. Ideal amino acid patterns for broiler chicks. In: D’Mello, editor. *Amino Acids in Animal Nutrition*. 2nd ed. Edinburgh, UK: Cabi Publishing. 2003:223-236.
- Baker, D.H. 2008. Advances in protein-amino acid nutrition of poultry. *Amino Acids*. doi:10.1007/s00726-008-0198-3
- Balog, J.M., Kidd, B.D., Huff, W.E., Huff, G.R., Rath, N.C., Anthony, N.B. 2003. Effect of cold stress on broilers selected for resistance or susceptibility to ascites syndrome. *Poult.Sci.* 82:1383.
- Barragán, C.J. 2004. Estrés térmico en aves. *Selecciones Avícolas*. 2004 [Fecha de acceso: 19 febrero de 2016] URL: <http://www.avicultura.com/docsav/SA2004jul423-426.pdf>.
- Baumgard, L.H., Rhoads, R.P. 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1, 311–337.
- Blachier, F., Lancha Jr, A.H., Boutry, C., Tome D. 2010. Alimentary proteins, amino acids and cholesterolemia. *Amino. Acids*. 38:15–22. Doi 10.1007/s00726-009-0239-6.
- Boerjan, M. 2002. Programs for single stage incubation and chick quality. *Avian Poultry Biol. Rev.*, 13, 237-238.
- Brosnan, J.T. 2001. Amino acids, then and now a reflection on Sir Hans Krebs’s contribution to nitrogen metabolism. *IUBMB Life* 52:265–270.
- Bryden W.L., Li, X. 2010. Amino acid digestibility and poultry feed formulation: expression, limitations and application. *Amino acid digestibility and poultry feed formulation: expression, limitations and application*. R. Bras. Zootec., v.39, p.279-287.

- Buijs, S.L., Keeling, S., Rettenbacher, E., Van Poucke, F.A.M., Tuytens. 2009. Stocking density effects on broiler welfare: Identifying sensitive ranges for different indicators. *Poult. Sci.* 88:1536–1543. doi:10.3382/ps.2009-00007.
- Butzen, F.M., Vieira M.M., Kessler A.M., Aristimunha, P.C., Marx, F.R., Bockor, L., Ribeiro, A.M.L. 2015. Early feed restriction in broilers. II: Body composition and nutrient gain. *J. Appl. Poult. Res.* 24:198–205.
- Cahaner, A., Ajuh, J.A., Siegmund-Schultze, M., Azoulay, Y., Druyan, S., Valle Zárate, A. 2008. Effects of the Genetically Reduced Feather Coverage in Naked Neck and Featherless Broilers on Their Performance Under Hot Conditions. *Poultry Science* 87:2517–2527. doi:10.3382/ps.2008-00284.
- Campos, A.M.A. 2008. Proteína ideal en nutrición. Tese de Doutorado., Universidade Federal de Viçosa.
- Cancherini, L., Junqueira, O., Oliveira, M., Andreotti, M., Barbosa, M. 2005. Utilização de Subprodutos de Origem Animal em Dietas Formuladas com Base em Proteína Bruta e Proteína Ideal para Frangos de Corte de 1 a 21 Días de Idade. *R. Bras. Zootec.*, V.34, n.2, p. 529-534.
- Castellini, C., Berri, C., Le Bihan-Duval E., and Martino, G. 2008. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. *World's Poult. Sci. J.* 64:500–512.
- Chica, P.J.D., Restrepo, Q.G.M., González, N.A., Llano, R.B., Valderrama, P.A. 2010. Evaluación del suministro de un alimento especial en el transporte y dos primeros días de vida del pollo de engorde y los beneficios sobre su desempeño zootécnico y económico. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, Vol. 5, núm. 2, julio-diciembre, 2010, pp. 45-53. ISSN: 1900-9607.
- Chowdhury V.S., Tomonaga S., Nishimura S., Tabata S., Furuse M. 2012. Physiological and Behavioral Responses of Young Chicks to High Ambient Temperature. *J. Poult. Sci.*, 49: 212-218, 2012 doi:10.2141/jpsa.011071.
- Cobb 500, 2012. Suplemento informativo sobre rendimiento y nutrición de pollo de engorda Cobb 500.
- Cobb-Vantress, Inc. 2014. Suplemento informativo de rendimiento y nutrición del pollo de engorde Cobb® 500. Siloam Springs, Arkansas, USA, Pp. 6.
- Cockshott, I. 2004. Manejo del pollo de carne y de los reproductores en zonas de clima cálido. *Aviagen. Poultry Middle East & North Africa.*

- Cortázar, J. 2010. Manejo de la incubación para la mejora de la calidad del pollito para carne. Jornadas profesionales de avicultura producción de pollos. Pamplona, España. ES. V, 8. Pp. 6-7.
- Cortés, C.A., Estrada, C.A., Ávila, G.E. 2006. Productividad y mortalidad por síndrome ascítico en pollos de engorda alimentados con dietas granuladas o en harina. *Téc Pecu Méx* 2006; 44 (2): 241-246.
- Corzo, A., Fritts, C., Kidd, M., Kerr, B. 2005. Response of broiler chicks to essential and non-essential amino acid supplementation of low crude protein diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118: 319–327.
- Costa, V.C.E. 2015. Evaluación del efecto de un programa de iluminación sobre los parámetros productivos en pollos Cobb 500. Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de ciencias agropecuarias. Tesis de grado. Trujillo Perú.
- Cravener, T.L., Roush, W.B., Mashaly, M.M. 1992. Broiler production under varying population densities. *Poult. Sci.* 71:427–433.
- Czarick, M., Lott, B., Lacy, M. 2000. Is an air speed of 600 ft/min in a tunnel house harmful? Pages 1–3 in *Poultry Housing Tips*. Vol. 12, No. 6. University of Georgia, Cooperative Extension Service, Athens, GA.
- Daghir, N.J., Ernst, R.A. 1995. Housing for improved performance in hot climates. *Poultry production in hot climates*. Faculty of Agricultural Science United Arab Emirates University. Arabian Emirates: Cab International. Pp.67-101.
- Dale, N. 2009. Enzimas para la avicultura: mitos y realidades. *Industria avícola*. [En línea] <http://www.wattagnet.com/7886.html>.
- Dari, R.L., Penz J.R., Kessler A.M., Jost, H.C. 2005. Use of digestible amino acid and the concept of ideal protein in feed formulation for broilers. *J Appl Poult Res* 2005; 14:195-203.
- Decuypere, E., Tona, K., Bamelis, F., Careghi, C., Kempes, B., De Ketelaere, B., De Baerdemaker, J., Bruggeman, V. 2002. Broiler breeders and egg factors interacting with incubation conditions for optimal hatchability and chick quality. *Arch. Gēu Ègelkunde (Spec. Iss.)* 66, 56-57.
- Dennis, R., Zhang, H.M., Bacon, L.D., Estevez, I., Cheng, H.W. 2004. Behavioral and physiological features of chickens diversely selected for resistance to avian disease. 1. Selected inbred lines differ in behavioral and physical responses to social stress. *Poult Sci* 2004; 83:1489-1496.
- Donald, J. 1997. El abc de la ventilación en galpones avícolas. *Tendencias en el control ambiental en granjas avícolas*. *Rev. Ind. Avícola*. 15:25-26.

- Doppenberg, J., Van Der Aar, P. 2007. *Biofuels: Implications for the feed industry*. Wageningen Academic Publishers, ISBN: 978-9086860432.
- Dottavio, A.M., Di Masso, R.J. 2010. Mejoramiento avícola para sistemas productivos semi-intensivos que preservan el bienestar animal. *Journal of basic and applied genetics*, vol.21 No.2; Issue 2, article 12. ISSN: 1852-6233.
- Dozier, W.A., Gordon, R.W., Anderson, J., Kidd, M.T., Corzo, A., Branton, S.L. 2006. Growth, meat yield, and economic responses of broilers provided three and four-phase schedules formulated to moderate and high nutrient density during a fifty-six-day production period. *J Appl Poult Sci* 2006;15:3 Pp. 12-325.
- Elnagar, S.A., Scheideler, S.E., Beck, M.M. 2010. Reproductive hormones, hepatic deiodinase messenger ribonucleic acid, and vasoactive intestinal polypeptide-immunoreactive cells in hypothalamus in the heat stress-induced or chemically induced hypothyroid laying hen. *Poult. Sci.* 2010, 89, 2001–2009.
- Estévez I. 2007. Group size, density and social dynamics in farm animals. *Applied animal behaviour Science*. Volume 103, Issues 3-4, P. 185–204. Doi.10.1016/j.applanim.2006.05.025.
- Estrada P.M.M., Márquez G.S.M., Restrepo B.L.F. 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.* 2007; 20:288-303288.
- Estrada, P.M.M., Márquez, G.S.M. 2005. Interacción de los factores ambientales con la respuesta del comportamiento productivo en pollos de engorda. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Vol. 18:3.
- Everaert, N., Swennen, Q., Métayer Coustard, S., Willemsen H., Careghi C., Buyse J., Bruggeman V., Decuypere E., Tesseraud S. 2010. The effect of the protein level in a pre-starter diet on the post-hatch performance and activation of ribosomal protein S6 kinase in muscle of neonatal broilers. *British Journal of Nutrition* (2010), 103, 206–211. Doi: 10.1017/S0007114509991735.
- Fairchild, B. 2014. Maximizando el desempeño del pollo de engorda. Bogotá, Colombia. [En línea] <http://www.elsitioavicola.com/articles/2626/maximizando-el-desempeao-del-pollo-de-engorde/>.
- Ferket, P.R., Gernat, A.G. 2006. Factors that affect feed intake of meat birds: A review. *International Journal of Poultry Science*, 5, 905–911.
- Fernández, T.R. 1991. Factores que afectan la conversión alimenticia en pollos de engorde. Winco Cala Venezuela. XII Congreso latinoamericano de avicultura. Pp.64 -75.

- Fideicomiso Instituido en Relación con la Agricultura (FIRA). 2015. Panorama Agroalimentario, Avicultura carne 2015. Dirección de investigación y evaluación económica y sectorial.
- Fuente, B., Mendoza, G.D., Menocal, J., Coello, C., González, E. 2012. Respuesta Productiva de gallinas a dietas con diferentes niveles de proteína. Arch. Med. Vet. Méx, 44, 67-74
- Furlan, R., Macari, M., Luguetti, C. 2004. “como avaliar os efeitos do uso de prebióticos probióticos e florade exclusao competitiva”.
- Gauthier, R. 2002. “La salud intestinal: Clave de la productividad - El caso de los ácidos orgánicos”. [Fecha de acceso: 12 de febrero de 2013]. URL: <http://www.engormix.com/MA-avicultura/nutrición/artículos/salud-intestinal-clave-productividadt518/p0.htm>.
- Geraert, P.A., Gulillaumin, S., Padilha, J.C. 1996. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: growth performance, body composition and energy retention. Br. J. Nutr.; 75:195-204.
- Gleick, J. 2012. Caos: La creación de una ciencia. Edit. CRITICA 380 pg. España.
- Gómez, R.B., Ortiz, R.R., Becerril, P.C.M., Román, B.R.M., Herrera, C.J. 2011. Caracterización de la producción de leche de la coneja con énfasis en la supervivencia y crecimiento de la camada en razas Nueva Zelanda blanco y California. Tropical and subtropical agroecosystems. Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 14, núm. 1, enero-abril, 2011, pp. 15-33 Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México. E-ISSN: 1870-0462.
- González, J. 2010. Influencia de algunas características de composición de ingredientes alimenticios, en la productividad del broiler. URL: www.veterinaria.uchile.cl/publicacion/congresoxi.aves/3.doc.
- Gregory, N.G. 2010. How climatic changes could affect meat Quality. Food Research International. Volume 43, Issue 7, August 2010, Pages 1866-1873. doi.org/10.1016/j.foodres.2009.05.018.
- Hai, L., Rong, D., Zhang, Z.Y. 2000. The Effect of environment on the digestión of Broilers. Journal Anim. Physiol. Anim. Nutr. 83. Pp. 57-64.
- Han, K., Lee, J.H. 2000. The role of synthetic amino acids in monogastric animal production – review-. Asian- Aus. J. Anim. Sci. Vol. 13, No 4: 543-560.
- Hardiman, J. 2005. La Selección Genética de Pollos en el Siglo XXI. XIX Congreso Latinoamericano de Avicultura, Panamá 2005. [Artículo en línea] <http://www.midiatecavipec.com/avicultura/avicultura011105.htm>.
- Herrera, H.I., Ramón, F., Ariel, M.O. 2007. Eficiencia técnica y económica en la producción avícola de pollo de engorda. Producción avícola. [Artículo en línea]

<http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/3554/articulos-aves-archivo/eficiencia-tecnica-y-economica-en-la-produccion-avicola-de-pollo-de-engorda.html>

- Hussein, A.S., Cantor, A.H., Pescatore, A.J. 2001. Effect of low protein diets with amino acid supplementation on broiler growth. *J Appl Poult Sci* 2001; 10:354-362.
- Ignatova, M., Sredkova, V., Marasheva, V. 2009. “Effect of Dietary Inclusion of Probiotic on Chickens Performance and Some Blood Indices”. *Biotech Anim Hus.* 2009; 25(5-6): 1079-1085.
- INEGI, 2013. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2013. Gobierno del estado de Michoacán México.
- Juárez, C.A., Ortiz, R.R., Pérez, S.R.E., Gutiérrez, V.E, Val, A.D. 2008. Caracterización y modelación del sistema de producción avícola familiar. *Livestock Research for Rural Development.* Volumen 20, Article #25. Retrieved May 23, 2008.
- Kamely, M.; Mak Torshizi, M.A.K., Rahimi, S. 2015. Incidence of ascites syndrome and related hematological response in short-term feed-restricted broilers raised at low ambient temperature. *Poultry Science* 94 (9), Pp. 2247-2256. doi.org/10.3382/ps/pev197.
- Kerr, B.J., Kidd M.T. 1999. Amino acid supplementation of low-protein broiler diets: 2. Formulation on an ideal amino acid basis. *J. Appl. Poult. Sci.* 1999; 8:310–320.
- Knoke, J.R., Garza, J.I. 2003. Practical cost/Schedule modeling for CIP management *AACE international transaction.*
- Lara, L.J., Rostagno, M.H. 2013. Impact of Heat Stress on Poultry Production. *Animals*, (3). Pp. 356-369. doi:10.3390/ani3020356 ISSN 2076-2615.
- Lee, K., Leeson, S. 2001. Performance of broilers fed limited quantities of feed or nutrients during seven to fourteen days of age. *Poult. Sci.* 80:446–454.
- Leeson, S. Summers, J.D. 2000. *Broiler Breeder Production.* Edit. Nottingham University Press. Department of Animal & Poultry Science University of Guelph, Guelph, Ontario, Canadá. January 2000.
- Lemme, A. Ravindran, V., Bryden, W.L. 2004. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. *World’s Poultry Science Journal*, Vol. 60, December. Doi: 10.1079/wps200426.
- Lessard, M. 2004. “El uso de probióticos: Potencial de la salud del intestino”. URL: http://www.agrireseau.qc.ca/porc/documents/Lessard_Martin.pdf.
- Lin, H.; Zhang, H.F.; Jiao H.C.; Zhao T.; Sui S.J.; Gu X.H.; Zhang Z.Y.; Buyse J. y Decuypere E. 2005. Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. I. One Week of Age. *Poultry Science* (84) Pp.1166–1172.

- Littell, C.R., Milliken, A.G., Stroup, W.W., Wolfinger, D.R. & Schabenberger, O. 2006. SAS® for Mixed Models. 2^{da} edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. Pp. 733- 735.
- Littell, C.R., Stroup, W.W. & Freund, J.R. 2002. SAS® for Linear Models, Fourth Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. USA. 191-194.
- Long, H., Zhao, Y., Wang, T., Ning, Z., Xin, H. 2015. Effect of light-emitting diode vs. fluorescent lighting on laying hens in aviary hen houses: Part 1 – Operational characteristics of lights and production traits of hens. Poultry Science 00:1–11 <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pev121>.
- López, N., Oliveros, Y., De Basillo, V., Machado, I., Marquina, J. 2013. Condiciones ambientales y respuesta productiva en pollo de engorda en unidad de ambiente semicontroladas. Revista Científica, Vol. XXIII, No. 2, Marzo-Abril. Pp. 120-125. Universidad de Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- Lott, B.D., Simmons, J.D., May, J.D. 1998. Air velocity and high temperature effects on broiler performance. Poultry Sci. 77:391–393.
- Mann, H. y Aguirre, V. 2002. Avances en el mejoramiento de la producción avícola. Memorias XI congreso venezolano de producción e industria animal. Valera 22 al 26 de octubre. ULA Trujillo.
- Mateo, G.G., Lázaro R., y García, M.J. 2002. Modificaciones nutricionales y problemática digestiva en aves. XVIII CURSO DE ESPECIALIZACION FEDNA. Barcelona, 4 y 5 de Noviembre de 2002.
- May, J.D. y Lott, B.D. 2001. Relating weight gain and feed: gain of male and female broilers to rearing temperature. Poultry Science (80) Pp. 581–584.
- Mc Geehin, M.A., Mirabelli, M. 2001. The potencial impacts of climate variability and change on temperature – related morbidity and mortality in the United State. Environ Health Perspect. 109 Suppl: 185-189.
- Mckay, J.; 2011. Una mirada al futuro de la genética, la incubación y la nutrición. [Artículo en línea] <http://www.elsitioavicola.com/articles/2048/una-mirada-al-futuro-de-la-genetica-la-incubacion-y-la-nutrician/>.
- Millán, G., Pérez, M., Puentes, Y., Bocourt, R. 2007. “Empleo de probióticos a base de *Bacillus* sp y sus endosporas en la producción avícola”. Rev Cub Ci Agr. 2007; 42(2): 117-122.
- Montañez, R., Rodríguez C.C., Sanchez J.F., Medina M.A. 2008. In silico analysis of arginine catabolism as a source of nitric oxide or polyamines in endothelial cells. Amino Acids 34:223–229.
- Montgomery, D. 2002. Diseño y análisis de experimentos. 2da edición. México: Editorial Limusa.

- Morris Jr, S.M. 2007. Arginine metabolism: boundaries of our knowledge. *Journal Nutrition*. 137:1602S–1609S.
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M.S., Bernabucci, U. 2010. Effect of climate changes on animal production and sustainability of Livestock systems. *Livestock Science*. Vol. 130, Issues 1-3, May 2010. Pp. 57-69. Doi: 10.1016/j.livsci.2010.02.011.
- Nilipour, A. 2012. Pollo moderno- Como obtener el máximo rendimiento- Desafío, oportunidades y metas. [En línea] <http://www.engormix.com/MA-avicultura/manejo/articulos/pollo-moderno-como-obtener-t4082/124-p0.htm>.
- Ortiz, R.R., Pérez, S.R.E., Juárez, C.A. & Gómez, R.B. 2015. Teoría de sistemas en la producción animal. 1era edición, Edit. Morevalladolid S. de R.L. de C.V. Coordinación de la Investigación Científica de la universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 2015.
- Oviedo R.E.O., Wineland, M.J., Small, J., Cutchin, H., McElroy, A., Barri, A., Martin, S. 2009. Effect of incubation temperatures and chick transportation conditions on bone development and leg health. *Journal, Appl. Poult. Res.* 18:671–678. doi: 10.3382/japr.2008-00135.
- Özkan, S., Takma, C., Yahav, S., Söğüt, B., Türkmüt, L., Erturun, H., Cahaner, A. 2010. The effects of feed restriction and ambient temperature on growth and ascites mortality of broilers reared at high altitude, *Poultry Science*, Volume 89, Issue 5, 1 May 2010, Pages 974–985, <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00293>.
- Pedersen, S., Thomsen, G.M. 2000. Heat and Moisture Production of Broilers kept on Straw Bedding. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 75, Issue 2, February 2000, Pp. 177-187. Doi:10.1006/jaer.1999.0497.
- Perazzo, C.F.G., Vilar da Silva, J.H., Castro de Lima, R., Santos de Oliveira, C.F., Rodríguez, V.P., Pinheiro, S.G. 2010. Scientific progress in the production of monogastric in the first decade of the twenty-first century. *Rev. Bras. Zootec.* V.39, Pp.288-302.
- Pérez, S.F., Figueroa, H.E., García, S.J.A., y Godínez, M.L. 2014. Aportaciones en ciencias sociales/economía y humanidades: La avicultura en México: retos y perspectivas. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo. ISBN 978-607-12-0354-0.
- Pessoa, G., Tavernari, F., Vieira, R., Albino, L. 2012. Novos conceitos e nutricao de aves. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim. Salvador.* v.13, n.3, p.755-774.
- Pesti, G.M. 2009. Impact of dietary amino acid and crude protein levels in broiler feeds on biological performance. *J Appl Poult Sci* 2009;18:477-486. 2.
- Pishnamazi, A., Renema, R.A., Paul, D.C., Wenger, I.I., Zuidhof, M.J. 2015. Effects of environmental temperature and dietary energy on energy partitioning coefficients of

- female broiler breeders. *Journal of Animal Science. Animal Nutrition*, Vol. 93 No. 10, p. 4734-4741. doi:10.2527/jas.2015-9214.
- Pope, T., Emmert, J.L. 2001. Phase-feeding supports maximum growth performance of broiler chicks from forty-three to seventy-one days of age. *Poult Sci* 2001;80:345-352.
- Popocatl, P.R. 2013. Evaluación del comportamiento productivo del pollo de engorda utilizando ácidos fúlvicos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, División De Ciencias Animal, Departamento De Nutrición Animal. Saltillo Coahuila, México octubre 2013.
- Quiles, A., Hevia, M.L. 2003. Fisiologismo de la termorregulación en las gallinas. Departamento de producción animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. España.
- Ravindran, V. 2010. Aditivos en la alimentación animal: presente y futuro. XXVI Curso de especialización FEDNA. Madrid España, 4 y 5 de noviembre.
- Reig, A.L.C., y Blanco, A. J. 2002. Prebióticos y Probióticos, una relación beneficiosa. Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos. *Revista Cubana Aliment Nutr.* 16(1):63-8.
- Rider, J.E., Hacker, A., Mackintosh, C.A. 2007 Spermene and spermidine mediate protection against oxidative damage caused by hydrogen peroxide. *Amino Acids* 33:231–240.
- Rivera, F.A. & Duran, A. 2004. Critical clouds and critical sets in resource-constrained projects *International Journal of Project Management*, 22, 489.
- Ross 308, 2014. Manual de objetivos de rendimiento broiler Ross.
- Rubio, L.A., Peinado, M.J., Ruiz, R., Suarez P.E., Ortiz M.C., Garcia F.J.M. 2015. Correlations between changes in intestinal microbiota composition and performance parameters in broiler chickens. *Journal animal Physiology an N.* 99(3), 418-423.
- Sampedro P.P., Zancada M.C., Begegaa A, Rubiob S, Ariasa J.L. 2013. Effects of environmental enrichment on anxiety responses, spatial memory and cytochrome c oxidase activity in adult rats. *Brain Research Bulletin*, 98, 1–9.
- Sánchez, G.E., Rosales, C.P. 2004. Situación actual de la producción de pollos parrilleros en la provincia Quillacollo, depto. De Cochabamba. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UAGRM. Santa Cruz. Bolivia.
- Santiago, G.R., Cortés, C.A., López, C.C., Ávila, G.E. 2011. Evaluación de tres programas de alimentación para pollos de engorda con base en dietas sorgo-soya con distintos porcentajes de proteína. *Veterinaria México*, vol. 42, núm. 4, octubre-diciembre, 2011, Pp. 299-309 Universidad Nacional Autónoma de México. ISSN: 0301-5092.

- Sarker, K., Ri-Parque, A., Kim, G., Chul-Ju, Y. 2010. “Alternativa a los antibióticos para la producción de pollos de engorde”. *Diario de Plantas Medicinales de Investigación*. 2010; 4(5):415-420.
- Savón, L.L.M., Mora, L.E., Dihigo, V., Rodríguez, Y., Rodríguez, I., Scull, Y., Hernández y T.E., Ruiz. 2008. Efectos de la harina de follaje de *Tithonia diversifolia* en la morfometría del tracto gastrointestinal de cerdos en crecimiento ceba. *Zootecnia Tropical*, 26(3):387-390
- Segura, C.J.C., Honhold, N. 2000. *Métodos de muestreo para la producción y salud animal*. Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán México. ISBN 968-7556-93-5.
- Servin, J., Quintana, L.J., Casaubon, M., Gonzáles, M. 2013. Evaluación de sistemas de crianza de pollo y su efecto en el bienestar y la producción. XXXVIII Convención Anual de ANECA, Ixtapa-Zihuatanejo, México, mayo de 2013.
- Shao, S.Z., Hong, G.S., Ying, Z., Xiu, M.L., Jing, H.F., Zhang, Min, H.Z. 2016. Effects of sustained cold and heat stress on energy intake, growth and mitochondrial function of broiler chickens. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(10): 2336–2342. doi: 10.1016/S2095-3119(15)61314-4.
- Sheppard, A., Edge, S. 2005. Economic and operational impacts of the proposed EU directive laying down minimum standards for the protection of chickens kept for meat production. University of Exeter, Centre for Rural Research and ADAS, Exeter, UK.
- Shigechi, H.J. Koh, Y., Fujita, T., Matsumoto, Y., Bito, M., Ueda, E., Satoh, H., Fukuda and A. Kondo. 2004. Direct production of ethanol from raw corn starch via fermentation by use of a novel surface-engineered yeast strain codisplaying glucoamylase and alpha-amylase. *Appl. Environ. Microbiol.*, 70:5037-5040.
- Simmons, J.D., Lott, B.D., Miles, D.M. 2003. The effects of high air velocity on broiler performance. *Poult. Sci.* 82:232-234.
- Song, Z., Liu, L., Sheikahmadi, A., Jiao, H., y Lin, H. 2012. Effect of heat exposure on gene expression of feed intake regulatory peptides in laying hens. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. Vol. 2012, Art. ID-484869, Pp. 1-8. doi:10.1155/2012/484869.
- Suenaga, R., Tomonaga, S., Yamane, H. 2008 .Intracerebroventricular injection of L-arginine induces sedative and hypnotic effects under an acute stress in neonatal chicks. *Amino Acids* 35:139–146.
- Sugita, Y., Takao, K., Toyama, Y., Shirahata, A. 2007. Enhancement of intestinal absorption of macromolecules by spermine in rats. *Amino Acids* 33:253–260.

- Takahashi, K., Igo, M., Ando, K., Tachibana, T., Denbow, D.M., Furuse, M. 2005. Regulation of body temperature by thyrotropinreleasing hormone in neonatal chicks. *Developmental Brain Research*, 57: 58-64. 2005.
- Terrazas, F.M.M., Ávila G.E., Cuca G.M., Soria N. 2005. Efecto de la incorporación de harina de pescado con distinto grado de cocción a dietas para pollos de engorda formuladas a un perfil de aminoácidos digestibles. *Téc Pecu Méx* 2005; 43:297–308.
- Thaxton, J.P., Dozier III, W.A., Branton, S.L., Morgan, G.W., Miles, D.W., Roush, W.B., Lott, B.D., Vizzier-Thaxton Y. 2006. Environment, Well-Being, And Behavior. Stocking Density and Physiological Adaptive Responses of Broilers. *Poultry Science* 85:819–824.
- Tolentino M.C., Icochea D.E., Reyna S.P. y Valdivia R.R. 2008. Influencia de la temperatura y humedad ambiental del verano e invierno sobre parámetros productivos de pollo de carne criados en la ciudad de Lima. *Revista de Investigación Veterinaria*. Perú. 19(1): Pp. 9-19.
- Tona, K., Malheiros, R.D., Bamelis, F., Careghi, C., Bruggeman, V., Moraes, V.M.B., Onagbesan, O. and Decuypere, E. 2003. Effects of Storage Time on Incubating Egg Gas Pressure, Thyroid Hormones and Corticosterone Levels in Embryos, and their Hatching Parameters. *Poultry Science*, 82, Pp. 840-845.
- Torres, V. 2001 El impacto de la aplicación de los métodos estadísticos y la computación en la gestión y análisis de la productividad de fincas. I Congreso Regional de Tránsito de Tecnología. ALPA-ACPA. Cuba.
- Toudic, C. 2006. Evaluating uniformity in broiler: Factors affecting variation. Technical information. [En línea] www.thepoultrysite.com.
- Unión Nacional de Avicultores (UNA). 2011. Compendio de indicadores económicos del sector avícola 2011. Dirección de Estudios Económicos. México DF.
- Unión Nacional de Avicultores (UNA). 2014. la avicultura mexicana en 2015 [En línea] <http://www.una.org.mx/index.php/panorama/crecera-2-5-la-avicultura-mexicana-en-2015>.
- Urdaneta R., De Lang M.K., Peña O.L., Leeson S. 2005. Lysine requirements of young broiler chickens are affected by level of dietary protein. *Can J Anim Sci* 2005;85:195-205.
- Valdiviá, M. & Dieppa, O. 2002. Densidad en pollos de ceba. Producción de peso vivo de aves. Biomasa/m². *Rev. Cubana Cienc. agríc.* 36:131
- Valdiviá, M. & Dieppa, O. 2002. Densidad en pollos de ceba. Producción de peso vivo de aves. Biomasa/m². *Rev. Cubana Cienc. agríc.* 36:131.
- Van der Klein, S.A.S., Silva, F.A., Kwakkel, R.P., Zuidhof, M.J. 2016 The effect of quantitative feed restriction on allometric growth in broilers. *Poultry Science* 0:1–9. 9 <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pew187>.

- Van Horne, P. 2005. Economische gevolgen verlaging bezettingsdichtheid vleeskuikens. Project 30472. LEI Wageningen UR, Wageningen, the Netherlands.
- Varmaghanya, S., Rahimi, S., Karimi Torshizi M.A., Lotfollahianc, H., Hassanzadeh M. 2013. Effect of olive leaves on ascites incidence, hematological parameters and growth performance in broilers reared under standard and cold temperature conditions. *Animal Feed Science and Technology* 185 (2013) 60–69. Doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.07.002.
- Verspecht, A., F. Vanhonacker, W. Verbeke, J. Zoons, and G. Van Huylenbroeck. 2011. Economic impact of decreasing stocking densities in broiler production in Belgium. *Poult. Sci.* 90:1844– 1851. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2010-01277>.
- Wijtten, P.J.A., Lemme, A., Langhout, D.J. 2015. Effects of different dietary ideal protein levels on male and female broiler performance during different phases of life: Single phase effects, carryover effects, and interactions between phases. *Poult Sci* 2004; 83:20052015.
- Willemsen, H., Kamers, B., Dahlke, F., Han, H., Song, Z., Ansari Pirsaraei, Z., Tona, K., Decuypere, E., Everaert, N. 2010. High and low-temperature manipulation during late incubation: effects on embryonic development, the hatching process, and metabolism in broilers. *Poult. Sci.* 89:2678–2690.
- Willemsen, H., Swennen, Q., Everaert, N., Geraert, P.A., Mercier, Y., Stinckens, A., Decuypere E., Buyse, J. 2011. Effects of dietary supplementation of methionine and its hydroxy analog DL-2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid on growth performance, plasma hormone levels, and the redox status of broiler chickens exposed to high temperatures. *Poultry Science* (90). Pp. 2311–2320. doi: 10.3382/ps.2011-01353.
- Wu, G.F., Bazer, T., Davis, L., Jaeger, G., Johnson, S.W., Kim, D., Knabe, C., Meininger, T. 2007. *Lives. Sci.* 112: 8-22.
- Yahav, S., A. Straschnow, E. Vax, V. Razpakovski, and D. Shinder. 2001. Air velocity alters broiler performance under harsh environmental conditions. *Poult. Sci.* 80:724–726.
- Yahav, S., A. Straschnow, I. Plavnik, and S. Hurwitz. 1997. Blood system response of chickens to changes in environmental temperature. *Poult. Sci.* 76:627–633.
- Yahav, S., Straschnow, A., Luger, D., Shinder, D., Tanny, J., Cohen, S. 2004. Ventilation, Sensible Heat Loss, Broiler Energy, and Water Balance Under Harsh Environmental Conditions. *Poultry Science* 83:253–258.
- Zhang S.S.; Su H.G.; Zhou Y.; Li X.M.; Feng J.H. y Zhang M.H. 2016. Effects of sustained cold and heat stress on energy intake, growth and mitochondrial function of broiler chickens. *Journal of Integrate Agriculture.* 15(10): Pp. 2336-2342. doi: 10.1016/S2095-3119(15)61314-4.zz.