



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Utilización de glicerina en sistemas de alimentación de aves

Yesid Avellaneda Avellaneda

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Bogotá, Colombia
2019

Utilización de glicerina en sistemas de alimentación de aves

Yesid Avellaneda Avellaneda

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Doctor en Ciencias Producción Animal

Directora:

Ph.D. Claudia Ariza Nieto

Codirector:

Ph.D. German Afanador Téllez

Línea de Investigación:

Nutrición Animal

Grupo de Investigación:

Microbiología y Nutrición Animal del Trópico

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Bogotá, Colombia
2019

Dedicatoria

Dedico esta tesis a toda mi familia y amigos

A mi padre, que me enseñó, sin comprenderlo en su momento, a no tener miedo

A mi madre que me enseñó sobre tranquilidad

A mi esposa Diana, la mujer de mi vida, por enseñarme sobre el amor y por su apoyo, motivación y paciencia

A mi hijo Franco por darme alegría y un motivo para vivir en la realidad de cada día

A mi hermano Miguel por la enseñanza de mantener las ganas de aprender

A mi hermana Luchis por enseñarme de esfuerzo

A mi hermano Marrano por ser mi mejor amigo

A mi hermano Gabrio por sus reflexiones de la vida

Agradecimientos

A DIOS, mi eterno amigo, la tranquilidad y felicidad cuando reconozco su poder, su voluntad

A mi directora Claudia Ariza Nieto, por la oportunidad de estudiar

A mi codirector German Afanador Téllez, por sus adecuadas recomendaciones y confianza

A AGROSAVIA, por la oportunidad para la ejecución del estudio

A la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá

A COLCIENCIAS y ECOPETROL por la financiación del proyecto “Utilización de glicerina y otros subproductos del proceso de producción de biodiesel en sistemas de alimentación de aves y cerdos”

A mi ampliada familia, a Arely por sus buenos deseos alrededor de la finalización de este emprendimiento, a don Leonel por su frescura y apoyo, a mis sobrinos por su compañía, a doña Eraides por su colaboración, a William por su buenas intenciones y a Laura por traer alegría a la casa con Mariana

A los amigos del equipo de apoyo durante la fase de campo, a doña Stella Rodriguez por su pícaro humor relajante, a don Lizardo Vargas por las risas en el cansancio, a Mauricio Ávila y Ney Urrego por su compañía y momentos refrescantes, a Edgar Mancipe por su incansable colaboración de casi toda la vida, a Ronal Ortiz, por sus divertidos algoritmos de la vida, a William Márquez, por sus motivadores silencios, a Javier Téllez, por su apoyo sin horario y a Leonardo Téllez, por sus prácticas soluciones para cada situación

A los amigos que me apoyaron y motivaron para la elaboración del documento de tesis, a Juan de Jesús Vargas, por su complicidad en la ciencia y en las risas, a Jorge Medrano, por sus consejos con tono fuerte y humor inteligente, a Gustavo García, por sus profundas reflexiones sobre la vida

A los amigos de toda la vida por seguir estando ahí... a mi compita Saul Linares, por su gran sentido del humor y exhortación al disfrute de la vida, a JJ por su fortaleza y por incluirnos en sus locuras, a Andres Marcel, por su fuerza de voluntad y prestancia para una charla reflexiva, a Fernando Ramirez, por estar siempre ahí, sí se necesita

A los amigos que casi nunca veo, pero siempre recuerdo, a Robinson Perez, por su nobleza y su persistencia, a Edgar Fityeral por su buen humor y energía, a Nelson Pardo, por su confianza, a Enrique Ariza, mi primo, por su humildad, a Rocha, por su perspectiva de la vida y Natalia Lopez, mi compañerita, por su cariño y esporádicos tintos reflexivos

A los que se me pasaron al momento de escribir estos agradecimientos, les pido me disculpen, y si algún día tengo el placer de encontrarme con ustedes, algoito les voy a invitar, mientras hablamos de algo no tan trascendental...

Siempre hay una opción diferente, no parecida a lo que debería ser el curso normal de las cosas, no compartida por muchos... pero que coincide exactamente con aquello que siempre quisimos ser o hacer y en algún momento olvidamos... pero tomar un respiro, reflexionar, orar, agradecer y confiar (sin ser uno el más en eso) y listos... todo se vuelve más fácil. Gracias Dios Nuestro

Resumen

Dada la importancia actual del sector avícola nacional, con relación al consumo de proteína de origen animal y la calidad de vida de los consumidores colombianos, y con el ánimo de aumentar el espectro de uso de un coproducto de la industria del biodiesel, con variadas características funcionales, como es la glicerina, esta tesis busca optimizar el uso de este recurso en sistemas de producción de aves, evaluando su utilización en momentos específicos y por tiempos definidos, para lograr un impacto sobre la respuesta productiva que beneficie la rentabilidad y competitividad del sector. Con base en estos criterios se adelantaron cinco experimentos, tres con pollos de engorde y dos con gallinas ponedoras en condiciones de altitud, que tenían los siguientes objetivos: 1) determinar el efecto de la utilización de glicerina USP en dietas de pollos de engorde durante una restricción energética, 2) evaluar la inclusión de glicerina cruda en la dieta de la fase de realimentación de pollos de engorde, 3) determinar el impacto de la utilización de glicerina USP durante la primera o última semana de vida de pollos de engorde sometidos a dos tiempos de retraso en el acceso al alimento, 4) evaluar el impacto del consumo de glicerina cruda o USP en las dietas de prepostura (semana 17 hasta el 5% de postura) y prepico (desde el 5% y hasta el 50% de postura) de gallinas ponedoras marrón, hasta la semana 42 de edad, y 5) determinar el efecto de la inclusión de glicerina cruda en dietas con diferente valor de energía metabolizable durante las fases de recría, prepostura y prepico en gallinas ponedoras marrón hasta la semana 40 de edad.

En el experimento 1 se estudió el efecto de la inclusión de diferentes niveles de glicerina USP en dietas de iniciación de pollos de engorde sometidos a una restricción energética del 85% del día 5 al 21 de edad, sobre la temperatura rectal, el desempeño productivo y el impacto económico durante un ciclo de producción. En este experimento se evaluaron cuatro niveles de utilización de glicerina USP, 0, 2.5, 5.0 o 7.5%. A nivel general se encontró que la inclusión de glicerina USP en las dietas de iniciación, retraso linealmente ($p < 0.05$) el tiempo al que los pollos estabilizan su temperatura corporal, además, la

conversión alimenticia y el rendimiento en pechuga tendieron ($p < 0.1$) a mejorar con inclusiones entre 2.5 y 5.0% de glicerina USP y, dentro del grupo de pollos alimentados a voluntad, los que consumieron dietas con 5 o 7.5% de glicerina USP registraron un mayor beneficio económico.

El experimento 2 evaluó el uso de dietas formuladas con glicerina cruda durante la fase de engorde de pollos que fueron restringidos durante la fase inicial. Los pollos de engorde fueron alimentados con dietas que contenían 0, 2.5, 5.0 o 7.5% de glicerina cruda y venían de ser restringidos al 15% en la energía y suplementados con 1% de aminogut®. La utilización de un aditivo rico en aminoácidos funcionales mejoró la longitud de las vellosidades del duodeno y la respuesta productiva durante la fase de iniciación. La inclusión de glicerina cruda durante la fase de engorde disminuyó la incidencia de ascitis (hipertrofia del ventrículo derecho) y los pollos que consumieron dietas con 5.0% de glicerina cruda presentaron una mayor ganancia de peso.

Pollos de engorde sometidos a diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento fueron utilizados en el experimento 3 para evaluar el efecto de la utilización de glicerina USP en el agua o la dieta de iniciación sobre la respuesta productiva durante la primera semana de vida. Posteriormente, al día 35 de edad, se volvió a utilizar glicerina USP, para determinar el efecto sobre la respuesta productiva y las pérdidas de agua de la carne de pollos de engorde. Los pollos que recibieron glicerina USP durante los primeros días registraron menor ($p = 0.0797$) concentración de sodio en plasma sanguíneo. La ganancia de peso de la primera semana fue mayor (< 0.05) en los pollos que recibieron dieta con glicerina USP. Al final del ciclo, los pollos de engorde que consumieron dietas de finalización que contenían 5% de glicerina USP, consumieron más ($p < 0.05$) alimento, ganaron más ($p < 0.05$) peso corporal, pero registraron mayor ($p < 0.05$) mortalidad que los pollos del grupo control. El tiempo de retraso en el acceso al alimento afectó el desempeño productivo de los pollos hasta la fase de iniciación.

El ensayo 4 se llevó a cabo con pollitas de 17 semanas de edad y busco evaluar el efecto de la inclusión de glicerina cruda o USP en dietas de transición (hasta el 50% de postura), sobre el desempeño productivo de las ponedoras (hasta la semana 42 de edad). Se evaluaron cuatro aportes de energía desde la glicerina cruda o USP, 0, 3, 6 o 9% de EM de las dietas. Las aves alimentadas con dietas que contenían 9% de aporte de energía

desde la glicerina tendieron ($p < 0.1$) a consumir más alimento y a ganar más peso de la semana 17 a la 19 y luego, presentaron un mayor consumo de alimento y postura, en los dos primeros meses del ciclo de producción. La altura de la albumina fue mayor en los huevos de gallinas que consumieron glicerina USP comparados con glicerina cruda. El consumo de glicerina tendió ($p = 0.084$) a disminuir el tiempo a la madurez sexual de las gallinas del estudio, a la vez que las aves que consumieron dietas con alta inclusión de glicerina pausaron 0.5 días menos.

En el último experimento, se evaluó el efecto de la inclusión de glicerina cruda en dietas con dos concentraciones de energía metabolizable, desde la semana 13 de edad hasta el 50% de postura, sobre la respuesta productiva de aves ponedoras hasta la semana 40 de edad. Los niveles de inclusión de glicerina cruda fueron 0, 3, 6 o 9% y los niveles de EMAn de las dietas variaron en 100 kcal en cada fase. Se observó un incremento lineal ($p < 0.05$) en la ganancia de peso hasta la semana 19 de edad, en función a la inclusión de glicerina y posteriormente, entre el inicio de la postura y el pico, se observó un incremento lineal ($p < 0.05$) en el número de huevos puestos y el consumo de alimento, lo que afectó ($p = 0.0981$) positivamente el ingreso parcial. Por otro lado, durante el final del levante, las aves que recibieron dietas bajas en energía consumieron más ($p < 0.05$) alimento, ganaron menos ($p < 0.05$) peso corporal y registraron una menor ($p < 0.05$) conversión alimenticia y durante la fase inicial de postura, consumieron más ($p < 0.05$) alimento, pusieron huevos más livianos ($p < 0.05$) y registraron una mayor ($p = 0.072$) conversión alimenticia, lo que se tradujo en que presentaran una menor ($p = 0.0976$) utilidad bruta.

Palabras clave: coproducto, optimización, rentabilidad, inclusión, restricción alimenticia, fase de transición.

Abstract

Due to the current importance of the national poultry sector, in relation to the consumption of animal protein and the quality of life of Colombian consumers, and with the aim of increasing the spectrum of use of a co-product of the biodiesel industry with various functional characteristics, such as glycerin, this thesis seeks to optimize the use of this resource in poultry production systems, evaluating their use at specific times and for defined times, to achieve an impact on the productive response that benefits profitability and competitiveness of the sector. Based on these criteria, five experiments were carried out, three with broiler chickens and two with laying hens in high altitude conditions, which had the following objectives: 1) to determine the effect of the use of USP glycerin in broiler diets during energy restriction, 2) evaluate the inclusion of crude glycerin in the diet of the broiler feed-back phase, 3) determine the impact of using glycerin USP during the first or last week of life of broiler chickens submitted to two times of delay in access to feed, 4) evaluate the impact of consumption of crude glycerin or USP in the diets of pre-posture (week 17 to 5% posture) and pre-pick (from 5% and up to 50% posture)) of brown laying hens, up to 42 weeks of age, and 5) determine the effect of the inclusion of crude glycerin in diets with different metabolizable energy value during the rearing, pre-posture and pre-pick in brown laying hens until week 40 of age.

In experiment 1, the effect of the inclusion of different levels of USP glycerin in starter diets of broilers subjected to an energy restriction of 85% from day 5 to 21 of age, on rectal temperature, productive performance and the economic impact during a production cycle. In this experiment, four levels of USP, 0, 2.5, 5.0 or 7.5% glycerin utilization were evaluated. At a general level, it was found that the inclusion of glycerin USP in the initiation diets, linearly delayed ($p < 0.05$) the time at which the chickens stabilized their body temperature, in addition, the feed conversion and breast yield tended ($p < 0.1$) to improve with inclusions between 2.5 and 5.0% of glycerin USP and, within the group of chickens fed at will, those that consumed diets with 5 or 7.5% glycerin USP registered a greater economic benefit.

Experiment 2 evaluated the use of diets formulated with crude glycerin during the fattening phase of chickens that were restricted during the initial phase. The broilers were fed diets containing 0, 2.5, 5.0 or 7.5% crude glycerin and had been restricted to 15% in energy and supplemented with 1% aminogut®. The use of an additive rich in functional amino acids

improved the length of the villi of the duodenum and the productive response during the initiation phase. The inclusion of crude glycerin during the fattening phase decreased the incidence of ascites (hypertrophy of the right ventricle) and the chickens that consumed diets with 5.0% crude glycerin had a greater weight gain.

Broilers subjected to different times of delay in access to the feed were used in experiment 3 to evaluate the effect of using USP glycerin in the water or the initiation diet on the productive response during the first week of life. Subsequently, at day 35 of age, USP glycerin was again used to determine the effect on the productive response and water losses of the meat of broiler chickens. The chickens that received glycerin USP during the first days registered a lower ($p = 0.0797$) concentration of sodium in blood plasma. The weight gain of the first week was higher (<0.05) in the chickens that received the USP glycerin diet. At the end of the cycle, the broilers that consumed finishing diets containing 5% USP glycerin, consumed more ($p <0.05$) food, gained more ($p <0.05$) body weight, but recorded a higher one ($p <0.05$) mortality than the chickens of the control group. The delay in access to food affected the performance of the chickens until the initiation phase.

Keywords: coproduct, optimization, profitability, inclusion, food restriction, transition phase

Contenido

Resumen	IX
Lista de figuras	XIX
Lista de tablas	XX
Introducción	1
1. CAPÍTULO 1. REVISIÓN DE LITERATURA. ESTADO ACTUAL DEL USO DE GLICERINA EN SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN DE AVES	7
1.1 Introducción	8
1.2 Composición química de la glicerina	9
1.3 Valor energético de la glicerina	11
1.3.1 Metabolismo del glicerol	11
1.3.2 Efecto de la edad sobre el valor de EMA de la glicerina	12
1.3.3 Definición del valor de EMA	14
1.4 Glicerina y desempeño de las aves	17
1.4.1 Niveles máximos de inclusión	17
1.4.2 Respuesta en producción al consumo de glicerina en aves	19
1.4.3 Respuesta en producción asociada a la edad de las aves	20
1.5 Glicerina y calidad de los productos de las aves	23
1.6 Problemas por el uso de glicerina en aves	24
1.6.1 Efecto del metanol de la glicerina sobre el desempeño de las aves	24
1.6.2 Glicerina y humedad de la cama	26
1.7 Valores agregados por el uso glicerina en dietas para aves	26
2. CAPÍTULO 2. UTILIZACIÓN DE GLICERINA USP DURANTE UNA RESTRICCIÓN ENERGÉTICA TEMPRANA EN POLLOS DE ENGORDE	29
2.1 Introducción	30
2.2 Materiales y Métodos	32

2.2.1	Unidades experimentales	32
2.2.2	Aval de Comité de Bioética	32
2.2.3	Ubicación	32
2.2.4	Glicerina	32
2.2.5	Dietas experimentales	32
2.2.6	Instalaciones y manejo animal	34
2.2.7	Protocolo experimental	34
2.2.8	Análisis estadístico	35
2.3	Resultados y discusión	35
2.3.1	Temperatura rectal	35
2.3.2	Desempeño durante la fase de iniciación	37
2.3.3	Desempeño productivo durante la fase de finalización	38
2.3.4	Respuesta acumulada y evaluación económica al final del ciclo de producción comercial	39
3.	CAPÍTULO 3. GLICERINA CRUDA, RESTRICCIÓN ALIMENTICIA Y SUPLEMENTACIÓN CON AMINOGUT® EN POLLOS DE ENGORDE	43
3.1	Introducción	45
3.2	Materiales y Métodos	47
3.2.1	Unidades experimentales	47
3.2.2	Aval de Comité de Bioética	47
3.2.3	Ubicación	47
3.2.4	Glicerina utilizada	47
3.2.5	Dietas experimentales	47
3.2.6	Instalaciones y manejo animal	49
3.2.7	Protocolo experimental	50
3.2.8	Análisis estadístico	50
3.3	Resultados y discusión	51
3.3.1	Desempeño durante la fase de iniciación	51
3.3.2	Microestructura intestinal al día 21 de edad	52
3.3.3	Desempeño durante la fase de finalización	54
3.3.4	Respuesta acumulada y evaluación económica al final del ciclo de producción	56
4.	CAPÍTULO 4. UTILIZACIÓN DE GLICERINA USP DURANTE LA PRIMERA Y ÚLTIMA SEMANA DEL CICLO DE PRODUCCIÓN EN POLLOS DE ENGORDE CON RETRASO EN EL ACCESO AL ALIMENTO	60
4.1	Introducción	61
4.2	Materiales y Métodos	63
4.2.1	Unidades experimentales y manejo general	63

4.2.2	Aval de Comité de Bioética	64
4.2.3	Ubicación	64
4.2.4	Glicerina utilizada	64
4.2.5	Dietas experimentales	64
4.2.6	Protocolo experimental	65
4.2.7	Análisis estadístico	68
4.3	Resultados y discusión	68
4.3.1	Nivel de electrolitos en plasma de pollos de engorde con retraso en el acceso al alimento	68
4.3.2	Desempeño durante la primera semana de vida	70
4.3.3	Desempeño durante la fase de iniciación	72
4.3.4	Desempeño durante la fase final del ciclo de producción	74
4.3.5	Rendimiento en canal y pérdidas de agua de la carne	76
5.	CAPÍTULO 5. INCLUSIÓN DE GLICERINA CRUDA O USP EN DIETAS PREPOSTURA Y PREPICO DE GALLINAS PONEDORAS MARRÓN	79
5.1	Introducción	81
5.2	Materiales y Métodos	83
5.2.1	Unidades experimentales	83
5.2.2	Aval de Comité de Bioética	83
5.2.3	Ubicación	83
5.2.4	Glicerina utilizada	83
5.2.5	Dietas experimentales	84
5.2.6	Protocolo experimental	86
5.2.7	Análisis estadístico	87
5.3	Resultados y discusión	87
5.3.1	Desempeño antes del inicio de la postura	87
5.3.2	Consumo de alimento durante la fase de producción de huevos	89
5.3.3	Porcentaje de postura durante la fase de producción	91
5.3.4	Peso y masa del huevo durante la fase de producción	92
5.3.5	Conversión alimenticia durante la fase de producción	93
5.3.6	Calidad del huevo	95
5.3.7	Características de las nidadas y pausas hasta la semana 42 de edad	96
6.	CAPÍTULO 6. GLICERINA CRUDA Y DENSIDAD ENERGÉTICA DE LAS DIETAS DE RECRÍA, PREPOSTURA Y PREPICO DE PONEDORAS MARRÓN EN CONDICIONES DE ALTITUD	101
6.1	Introducción	103
6.2	Materiales y Métodos	106

6.2.1	Unidades experimentales	106
6.2.2	Aval de Comité de Bioética	106
6.2.3	Ubicación	106
6.2.4	Glicerina utilizada	106
6.2.5	Dietas experimentales	107
6.2.6	Protocolo experimental	110
6.2.7	Análisis estadístico	111
6.3	Resultados y discusión	112
6.3.1	Desempeño productivo de la semana 13 a la 19 de edad	112
6.3.2	Desempeño productivo hasta el pico de postura	113
6.3.3	Desempeño en producción después del pico de postura	116
6.3.4	Modelación de la dinámica de postura de gallinas ponedoras marrón	118
6.3.5	características de las nidadas y las pausas durante la fase de producción	120
6.3.6	Evaluación económica	121
7.	CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN GENERAL, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	124
7.1	Discusión general	124
7.1.1	Dinámica de la inclusión de glicerina en las dietas de pollos de engorde y gallinas ponedoras	126
7.1.2	Respuesta productiva de pollos de engorde y gallinas ponedoras a la inclusión de glicerina en las dietas durante periodos definidos del ciclo de producción	129
7.2	Conclusiones	150
7.2.1	Uso de la glicerina en pollos de engorde	150
7.2.2	Uso de la glicerina en gallinas ponedoras	151
7.2.3	Otros factores experimentales evaluados en pollos de engorde	151
7.2.4	Otros factores experimentales evaluados en gallinas ponedoras	152
7.3	Recomendaciones	153
7.3.1	Estudios en pollos de engorde	153
7.3.2	Estudios en ponedoras	155
	Bibliografía	157

Lista de figuras

Figura 7-1: Relación entre la inclusión de glicerina de las dietas y la inclusión parcial de maíz (Lado izquierdo experimentos con pollos de engorde. Lado derecho experimentos con gallinas ponedoras)	126
Figura 7-2: Precio sombra relativo (con relación al precio del maíz) de la glicerina en función al nivel de energía de las dietas de pollitos (iniciación), pollos (engorde) y gallinas (postura)	128
Figura 7-3: Precio sombra relativo (con relación al precio del maíz) de la glicerina en función a la relación de precio entre la torta de soya y el maíz amarillo	129
Figura 7-4: Consumo relativo de alimento de pollos de engorde y pollas en la fase final del levante de acuerdo con la inclusión de glicerina en las dietas.....	130
Figura 7-5: Consumo relativo de alimento de ponedoras marrón de acuerdo con la inclusión de glicerina en las dietas	132
Figura 7-6: Ganancia de peso relativa de pollos de engorde y pollas en la fase final del levante de acuerdo con la inclusión de glicerina en las dietas	133
Figura 7-7: Postura y masa relativa de huevos de ponedoras marrón en función a la inclusión de glicerina en las dietas	134
Figura 7-8: Conversión alimenticia relativa de pollos de engorde y pollas en la fase final del levante en función a la inclusión de glicerina en las dietas.....	136
Figura 7-9: Conversión alimenticia relativa por docena de huevo de gallinas ponedoras marrón en función a la inclusión de glicerina en las dietas.....	137
Figura 7-10: Índice cardiaco (IC) y supervivencia (S) de relativa de pollos de engorde alimentados con dietas que contenían diferentes niveles de glicerina	139
Figura 7-11: Tiempo al inicio de la postura relativo de gallinas ponedoras alimentadas con dietas que contenían diferentes niveles de glicerina durante el periodo de transición	139
Figura 7-12: Costo de producción parcial relativo de pollos de engorde y gallinas ponedoras marrón en función a la inclusión de glicerina en las dietas.....	140
Figura 7-13: Ingreso relativo de pollos de engorde y gallinas ponedoras marrón en función a la inclusión de glicerina en las dietas	141
Figura 7-14: Ingreso – costo parcial relativo de pollos de engorde y gallinas ponedoras marrón en función a la inclusión de glicerina en las dietas	142

Lista de tablas

Tabla 1-1: Composición de química y valor de energía bruta de glicerina utilizada en alimentación de aves	10
Tabla 1-2: Valores de energía de glicerina proveniente de la producción de biodiesel en pollos de engorde durante la fase de crecimiento	14
Tabla 1-2: (Continuación)	15
Tabla 1-3: Valores de energía de glicerina proveniente de la producción de biodiesel en gallinas ponedoras.....	15
Tabla 2-1: Dietas experimentales durante la fase de iniciación (0- 21 días de edad) ..	33
Tabla 2-2: Parámetros del modelo broken line cuadrático ajustado a la temperatura rectal de pollos de engorde restringidos energéticamente y alimentados con glicerina USP	36
Tabla 2-3: Desempeño durante la fase de iniciación de pollos de engorde restringidos en energía y alimentados con diferentes niveles de glicerina USP.....	37
Tabla 2-4: Ganancia de peso y consumo de alimento durante la fase de engorde de pollos restringidos durante el periodo inicial de crecimiento y alimentados con glicerina USP	38
Tabla 2-5: Desempeño acumulado de pollos de engorde al final del ciclo de producción comercial cuando fueron sometidos a restricción alimenticia y alimentados con glicerina USP durante la fase de iniciación	39
Tabla 3-1: Dietas experimentales de iniciación con Aminogut® utilizadas durante un periodo de restricción energética de pollos de engorde (%) (5-21 días de edad)	48
Tabla 3-2: Dietas experimentales con glicerina cruda usadas durante el periodo de realimentación (22-42 días de edad) en pollos de engorde restringidos (5-21 días de edad)	49
Tabla 3-3: Desempeño de pollos de engorde de engorde restringidos y suplementados con Aminogut® durante la fase de iniciación (5-21 días de edad).....	52
Tabla 3-4: Desarrollo de la microestructura intestinal de pollos de engorde restringidos en energía y suplementados con Aminogut® durante la fase de iniciación (5- 21 días de edad)	53

Tabla 3-5: Desempeño de pollos durante la fase de finalización alimentados con glicerina luego de una restricción alimenticia y suplementación con Aminogut® (22- 42 días de edad)	54
Tabla 3-6: Desempeño de pollos de engorde durante un ciclo de producción alimentados con glicerina luego de una restricción alimenticia (5- 21 días de edad) y suplementación con Aminogut® durante la restricción (0- 42 días de edad).....	57
Tabla 4-1: Dietas experimentales utilizadas para determinar el efecto del tiempo de espera antes de recibir el primer alimento y el consumo de glicerina USP en la primera y última semana del ciclo de producción sobre la respuesta y el balance hídrico en pollos de engorde (%) a los 42 días de edad.....	65
Tabla 4-2: Modelo de dilución de glicerina USP en el agua de bebida según la edad de los pollos de engorde	66
Tabla 4-3: Concentración de minerales en plasma sanguíneo de pollos de engorde sometidos a diferentes tiempos retraso en el acceso al alimento	68
Tabla 4-4: Concentración de electrolitos en plasma sanguíneo de pollos de engorde de cuatro días de edad alimentados con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos retraso en el acceso al alimento	69
Tabla 4-5: Desempeño durante la primera semana de vida de pollos de engorde alimentados con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento	71
Tabla 4-6: Desempeño durante la fase de iniciación (1-21 días de edad) de pollos de engorde alimentados durante la primera semana de vida con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento.....	73
Tabla 4-7: Desempeño durante la fase de engorde (22-35 días de edad) de pollos de engorde alimentados durante la primera semana de vida con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento.....	73
Tabla 4-8: Desempeño productivo durante la fase de finalización de pollos de engorde alimentados durante la primera semana de vida con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de arribo a la granja y con glicerina USP en la dieta durante la última semana	75
Tabla 4-9: Características de la carne de la pechuga de pollos de engorde alimentados durante la primera semana de vida con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de arribo a la granja y con glicerina USP durante la última semana del ciclo	77
Tabla 5-1: Dietas experimentales de prepostura formuladas para evaluar la inclusión de glicerina cruda o USP durante la fase de transición en ponedoras marrón (%)	84
Tabla 5-2: Dietas experimentales de prepico formuladas para evaluar la inclusión de glicerina cruda o USP durante la fase de transición en ponedoras marrón (%)	85
Tabla 5-3: Desempeño de pollas marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP desde la semana 17 a la 20 de edad.....	88
Tabla 5-4: Consumo diario de alimento (g/ave/d) de gallinas ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición	89

Tabla 5-5: Porcentaje de postura de ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición	91
Tabla 5-6: Masa del huevo (g) de gallinas ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición.....	93
Tabla 5-7: Conversión alimenticia (kg alimento/docena de huevos) de ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición	94
Tabla 5-8: Características de huevos de ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición	95
Tabla 5-9: Características de las nidadas y pausas hasta la semana 42 de gallinas de ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición	97
Tabla 6-1: Ingredientes y composición nutricional de las dietas experimentales de la fase de recría (g/kg en base fresca).....	107
Tabla 6-2: Ingredientes y composición nutricional de las dietas experimentales de la fase de prepostura (g/kg en base fresca).....	108
Tabla 6-3: Ingredientes y composición nutricional de las dietas experimentales de la fase de prepico (g/kg en base fresca)	109
Tabla 6-4: Desempeño productivo de la semana 13 a la 19 de edad de pollas marrón alimentadas con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda	112
Tabla 6-4: (Continuación)	113
Tabla 6-5: Desempeño productivo hasta el pico de postura de gallinas ponedoras marrón alimentadas durante la fase de transición con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda.....	114
Tabla 6-6: Desempeño productivo después de pico de postura y hasta la semana 40 de edad de ponedoras marrón alimentadas durante la fase de transición con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda.....	116
Tabla 6-7: Parámetros de la dinámica de postura de gallinas ponedoras marrón alimentadas durante la fase de transición con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda	119
Tabla 6-8: Características de las nidadas y pausas hasta la semana 40 de edad de gallinas ponedoras marrón alimentadas durante la fase de transición con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda	120
Tabla 6-8: (Continuación)	121
Tabla 6-9: Evaluación económica de la alimentación de gallinas ponedoras marrón alimentadas durante la fase de transición con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda (\$/docena de huevo)	122
Tabla 7-1: Balance económico de un ciclo productivo de pollos de engorde alimentados durante la primera semana de vida con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento y con glicerina USP en la dieta durante I.....	143
Tabla 7-1: (Continuación)	144

Tabla 7-2: Relación entre la utilidad bruta y el precio relativo de la glicerina USP durante la inclusión de este coproducto en la dieta de finalización de pollos de engorde	144
Tabla 7-3: Parámetros (error estándar) de las ecuaciones de predicción de la respuesta productiva en función a la inclusión de glicerina del experimento 1, glicerina USP en pollos de engorde.....	146
Tabla 7-4: Maximización de la utilidad bruta con el uso de glicerina USP en las dietas en el experimento 1, con pollos de engorde	147
Tabla 7-5: Parámetros (error estándar) de las ecuaciones de predicción de la respuesta productiva en función a la inclusión de glicerina del experimento 2, glicerina cruda en pollos de engorde	147
Tabla 7-6: Utilidad bruta maximizada con el uso de glicerina en las dietas en el experimento 2, glicerina cruda con pollos de engorde	148
Tabla 7-7: Parámetros (error estándar) de las ecuaciones de predicción de la respuesta productiva en función al aporte energético de la glicerina del experimento 1, glicerina USP o cruda en gallinas ponedoras marrón	149
Tabla 7-8: Maximización de la utilidad bruta con el uso de glicerina en las dietas en el experimento 1, con gallinas ponedoras marrón	149

Introducción

El sector avícola a nivel global ha tenido un crecimiento significativo en los últimos años (Mottet y Tempio, 2017; Alexandratos & Bruinsma, 2012), impulsado por el consumo de carne de pollo y huevo, productos percibidos por los consumidores como fuentes de proteína de alta calidad y bajo costo (Bruisma, 2003; Zaheer, 2015). Colombia no ha sido ajena a esa tendencia y reporta un aumento del 7.5% y 5.7% en el encasamiento de pollitas y pollo de engorde, respectivamente, lo que se ha traducido en un consumo histórico nacional per cápita de 279 huevos/persona y 32.8 kg/pollo/persona para el año 2017 (FENAVI, 2018).

El subsector de la genética avícola ha sido un pilar estratégico en este crecimiento y desarrollo, ya que se pasó del reconocimiento de las bases que gobiernan la expresión productiva de las aves al desarrollo de programas de mejoramiento genético integral que están en constante evolución con el fin de satisfacer expectativas cambiantes del consumidor (Tixier-Boichard et al., 2012). La conexión entre el desarrollo genético y la satisfacción de las necesidades del consumidor la establecen los sistemas de alimentación, surgiendo la necesidad prioritaria de diseñar constantemente estrategias alimenticias que permitan alcanzar el potencial genético y generar valor agregado en el producto final, a un bajo costo de producción, enmarcadas en un desarrollo sostenible del sector. De esta manera, es importante reconocer que la competitividad y sostenibilidad del sector avícola está correlacionada con el precio de la dieta (Altahat et al., 2012) y algunos autores reconocen que la energía disponible en el sistema alimentación es el componente que afecta en mayor cuantía la dinámica de desarrollo sectorial (Classen, 2017; Leeson y Summers, 2009).

En este contexto, la Industria Avícola Colombiana consume más del 60% de la producción de alimentos balanceados comerciales del país, en cuya formulación el maíz es el ingrediente principal, lo que ha obligado al incremento de las importaciones de este recurso alimenticio, las cuales alcanzaron las 3.9 millones de toneladas en el 2014 (FENALCE, 2016). En ese sentido, la investigación en recursos alimenticios que permitan reemplazar fuentes convencionales de energía para las aves se considera una línea importante de conocimiento para países en desarrollo, que están expuestos al proceso de globalización con importantes implicaciones de disponibilidad estos recursos para alimentación humana.

Por otra parte, en Colombia algunos sistemas de producción de pollo de engorde se ubican en el trópico de altura (> de 2000 msnm), por lo que se ven obligados a implementar esquemas de restricción alimenticia para disminuir la incidencia de ascitis y mejorar la eficiencia de producción de las estirpes disponibles, caracterizadas por su alto potencial de crecimiento (Uribe 2011). Históricamente la restricción alimenticia se ha considerado como una estrategia de manejo del alimento que incrementa la productividad de la industria de la carne de pollo (Sahraei, 2013), al: mejorar la expresión productiva de los pollos de engorde (Govaerts et al., 2000; Santoso 2002), disminuir la acumulación de grasa corporal (Yang et al., 2009; Omoisebi et al., 2014) y hacer más eficiente y efectivo el sistema de alimentación (Plavnik y Hurwitz, 1991; Tůmová et al., 2002). Sin embargo, en investigaciones recientes no se han evidenciado un beneficio productivo tras la utilización de esta práctica de manejo (Azis et al., 2011; Fanooci y Torki, 2010; Ozkan et al., 2010; Zhan et al., 2007), lo que sugiere la necesidad de evaluar estrategias de alimentación en un contexto específico para, con base en la adaptación de las aves, promover su desempeño productivo.

En aves ponedoras es de vital importancia el estado fisiológico de transición, ya que afecta significativamente el posterior desempeño productivo de la ponedora (Sujatha y Rajini, 2015). En las semanas previas a la puesta del primer huevo se observan importantes cambios a nivel del sistema reproductivo (rápido desarrollo del ovario y el oviducto) y del tracto gastrointestinal (aumento en el tamaño del hígado) (Sujatha et al., 2014), así como un aumento lineal en el peso corporal, que definen la madurez sexual de la pollita y el posterior desempeño productivo (Summers, 1993). El objetivo al inicio de la postura se

relaciona con la consecución de un lote de aves homogéneo, con un blanco de peso corporal que permita asegurar un incremento sostenido el ciclo de producción de huevos, una persistencia duradera del ciclo y un tamaño de huevo ajustado al mercado, lo que se logra principalmente con un adecuado manejo nutricional (de Beer y Coon, 2007; Gous, 2014; Leeson y Summers, 2000). Además del correcto aporte de nutrientes, es conveniente estimular el apetito para aumentar la capacidad de consumo de alimento de la gallina ponedora durante este período de transición (Leeson y Summers, 2000; Lazaro y Mateos, 2008).

En ese sentido, algunos autores consideran que la concentración de energía de la dieta es un factor importante para la asegurar una adecuada expresión de la gallina ponedora (Classen, 2017; Pérez-Bonilla et al., 2012; Saldaña et al., 2015). En general, se considera que las aves tienen la capacidad para ajustar el consumo de alimento para asegurar una adecuada ingesta de energía (Harms et al., 2000; Wu et al., 2005); sin embargo, el mejoramiento genético direccionado hacia el aumento en la eficiencia alimenticia (Jalal et al., 2007) sugiere una mayor dificultad en el ajuste del consumo de alimento en las estirpes modernas de ponedoras (van Krimpen et al., 2007), impactando negativamente la rentabilidad del sector.

Una parte estructural del análisis de la relación insumo: producto y de la globalización de los mercados de materias primas para el sector es el incremento en la oferta de biocombustibles como el biodiesel, con una producción cercana a 25 millones de toneladas en el 2015, de las cuales Colombia aportó 513 mil toneladas (Fedebiocombustibles, 2016). De esta manera, la producción de biodiesel ha promovido un incremento en la oferta de un coproducto como la glicerina que representa cerca del 10% de producción de este biocombustible (Thompson y He 2006), lo que ha incidido en la regulación de los precios de los cereales con una disminución del precio, incluso de la glicerina refinada (Yang et al., 2012), y que ha promovido en general un incremento en el uso de este recurso en sistemas de alimentación animal (Beserra et al., 2016; Retore et al., 2012; Silva et al., 2014; Verussa et al., 2016).

Diferentes investigaciones han evaluado la inclusión de la glicerina en sistemas de alimentación de aves (Mandalawi et al., 2014; Pasquetti et al., 2014; Romano et al., 2014; Swiatkiewicz & Koleresi, 2009; Lammers et al., 2008; Nemeth et al., 2013); sin embargo, estos estudios se enfocan en reemplazar la energía disponible de los cereales por glicerina durante una fase fisiológica específica del ciclo de producción o durante todo el ciclo productivo, pero pocos han explorado la utilización de este coproducto intentando aprovechar algunas características intrínsecas del mismo, como la capacidad para disminuir el esfuerzo cardiaco y mantener la termorregulación en momentos de esfuerzo fisiológico, reportado en humanos (Anderson et al., 2001; Coutts et al., 2002; Easton et al., 2007), la capacidad para adaptar al organismo en etapas de balance energético negativo, reportado en vacas lactantes durante la fase de transición (Chung et al., 2008), o la mayor biodisponibilidad de energía en sistemas netos de energía (AVINESP, 2012).

En este contexto, esta investigación realizada en el trópico de altura colombiano plantea las siguientes hipótesis:

- La inclusión de glicerina en las dietas de pollos de engorde sometidos a una restricción energética temprana (5-21 días) puede ayudar a aliviar los efectos de esta condición y promover el crecimiento compensatorio durante la fase de realimentación.
- La utilización de glicerina en el agua de bebida o en la dieta de la primera semana puede hacer que los pollos de engorde sometidos a un retraso en el acceso al alimento se recuperen más rápidamente.
- La inclusión de glicerina en la dieta de finalización puede mejorar la respuesta productiva de los pollos de engorde y disminuir las pérdidas de agua de la carne.
- La utilización de glicerina en las dietas del periodo de transición en gallinas ponedoras puede generar un efecto positivo sobre el consumo de alimento que beneficia el desempeño productivo durante la fase de postura.

El objetivo general del documento de tesis fue: evaluar la utilización de glicerina en sistemas de alimentación de aves con énfasis en los efectos de arrastre generados por el consumo de este coproducto durante momentos críticos del ciclo de producción.

Los objetivos específicos fueron:

- Determinar el efecto de arrastre de la utilización de glicerina USP en las dietas de pollos de engorde durante una restricción energética leve, del día 5 al 21 de edad, sobre la respuesta productiva de un ciclo completo.
- Evaluar el efecto de la inclusión de glicerina cruda de aceite de palma en las dietas de la fase de realimentación de pollos de engorde que fueron sometidos a una restricción energética del día 5 al 21 de edad, sobre la respuesta productiva durante un ciclo de producción comercial.
- Evaluar el efecto de la utilización de glicerina USP en el agua de bebida o en la dieta de la primera semana de vida de pollos de engorde de un día de edad sometidos a dos tiempos de retraso en el acceso al alimento y la inclusión de glicerina USP en la dieta de finalización sobre el desempeño productivo de pollos de engorde.
- Evaluar el impacto del consumo de glicerina cruda o USP en las dietas de prepostura (semana 17 hasta el 5% de postura) y prepico (desde el 5% y hasta el 50% de postura) sobre el consumo de alimento y el peso corporal, previo al inicio de la postura, y el desempeño productivo grupal e individual de gallinas ponedoras marrón, hasta la semana 42 de edad.
- Determinar el efecto de la inclusión de glicerina cruda en dietas con diferente valor de energía metabolizable durante las fases de recría (semana 14 a la 16), prepostura (semana 17 hasta el 5% de postura) y prepico (desde el 5% y hasta el 50% de postura) sobre el desempeño productivo de gallinas ponedoras marrón hasta la semana 40 de edad.

1. Capítulo 1. Revisión de literatura. Estado actual del uso de glicerina en sistemas de alimentación de aves

Resumen

La glicerina es un coproducto de la producción del biodiesel con alto potencial de uso en sistemas de alimentación de aves, debido a que puede llegar a reemplazar al maíz en las dietas, en virtud de su aporte energético, lo que podría ayudar a disminuir los costos de producción de este sector. Varias investigaciones han sido desarrolladas para determinar la eficiencia de uso de la glicerina, tanto en pollos de engorde como en gallinas ponedoras, con el objetivo de predecir de una forma acertada el valor de energía metabolizable, sin embargo, no se ha avanzado en el desarrollo de adecuadas ecuaciones de predicción, debido, entre otras cosas, a la heterogeneidad en las metodologías usadas para este fin y a la variación en términos de composición química, especialmente en el contenido de grasas y de metanol, que registra este recurso y que están asociadas al origen del aceite y a la tecnología del proceso de refinamiento. A pesar de estas dificultades, la inclusión de la glicerina en dietas para aves ha mostrado resultados comparables frente al uso de dietas convencionales, sin efectos negativos sobre la calidad de los productos. De esta manera, se puede decir que la utilización de glicerina en sistemas de alimentación de aves es viable técnicamente, pero se deben hacer otras investigaciones para lograr optimizar su uso.

Palabras clave: coproducto, energía metabolizable, inclusión

Abstract

Glycerin is a co-product of biodiesel production with high potential for use in poultry feed systems, because it can replace maize in diets, by its energy supply, which could help to reduce production costs in this sector. Several investigations have been developed to determine the efficiency of use of glycerin, both in broiler and laying hens, in order to accurately predict the value of metabolizable energy, however, there has been no progress in development suitable prediction equations, due, among other things, to the heterogeneity in methodologies used for this purpose and to the variation in terms of chemical composition, especially in the fat and methanol content, which records this resource and which are associated with origin of the oil and the technology of the refinement process. In spite of these difficulties, the inclusion of glycerin in poultry diets has shown comparable results against the use of conventional diets, without negative effects on the quality of the products. In this way, it can be said that the use of glycerin in poultry feed systems is technically feasible, but other research should be done to optimize its use.

Key words: coproduct, metabolizable energy, Inclusion

1.1 Introducción

En Colombia, el 60% de la producción nacional de alimentos balanceados comerciales se destina al sector avícola, lo que a su vez significa que en la formulación de las dietas se consume el 46% de las importaciones de maíz, que para el año 2011 ascendieron a 3.9 millones de toneladas (Superintendencia de Industria y Comercio, 2012). Esta situación conlleva a la priorización de la búsqueda y la evaluación de recursos energéticos alternativos que permitan establecer una soberanía a la producción nacional de carne de pollo y huevos, principalmente, y aumentar la rentabilidad del sector de la economía nacional en general. Por otro lado, la globalización de los mercados muestra un incremento mundial en la oferta de biodiesel, con una producción cercana a 25 millones de toneladas en el 2015, de las cuales Colombia aportó 513 mil toneladas (Fedebioenergías, 2016) mediante el uso de aceite de palma africana. Esta dinámica de la producción de biodiesel ha originado un incremento exponencial en la oferta de glicerina, principal coproducto de la producción de este biocombustible (Thompson y He, 2006), lo que ha incidido en la

disminución del precio, incluso de la glicerina USP (Yang et al., 2012) y ha generado una oportunidad incremental para su uso, como recurso energético alternativo, en sistemas de alimentación animal (Retore et al., 2012; Silva et al., 2014; Smith y Makkar, 2012; Verussa et al., 2016). Adicionalmente, la utilización de glicerina cruda permite ahorrar costos asociados al refinamiento de este coproducto (Min et al., 2010), proceso que no está disponible en todas las plantas de producción de biodiesel de Colombia.

La anterior situación obliga a conocer este recurso alimenticio alternativo, desde diferentes ámbitos del componente alimenticio, para maximizar su aprovechamiento en los sistemas de producción de aves. Es necesario identificar desde un enfoque integral y sostenible el aporte nutricional del recurso, la respuesta a diferentes niveles de inclusión en las dietas, el efecto sobre la calidad del producto final y las posibles limitantes de inclusión en la dieta. Este análisis debe propender por el correcto y óptimo diseño y formulación de sistemas de alimentación para la producción de carne de pollo y huevos en Colombia.

1.2 Composición química de la glicerina

Durante el proceso de producción de biodiesel, los triglicéridos presentes en la planta oleaginosa se hidrolizan en glicerol y ácidos grasos libres, estos últimos reaccionan con el metanol y forman el biodiesel (Knothe et al., 2005). En cada reacción una mol de éster metílico y diferentes proporciones de subproductos son liberados, de acuerdo con el rendimiento del proceso. Generalmente, las plantas de biodiesel refinan la glicerina hasta llegar a grado USP, sin embargo, dependiendo de las condiciones del mercado, el proceso puede generar glicerinas con diferente nivel de pureza, lo que, asociado a la tecnología de la planta, genera coproductos con variaciones pronunciadas en la concentración de agua, glicerol, ácidos grasos libres, fósforo y metanol (Jung y Batal, 2011; Karlen y Kerr 2012).

La composición química y la energía bruta de glicerinas evaluadas en diferentes trabajos de investigación destinados históricamente a determinar el valor de uso de la energía disponible en pollos de engorde se observa en la tabla 1-1. La glicerina que con mayor regularidad se ha usado el proceso de investigación proviene de la producción de biodiesel a partir del aceite de soya, en donde la concentración de glicerol es el componente menos variable (coeficiente de variación (CV) cercano al 16%), mientras que el contenido de

metanol registra la mayor variación entre las muestras evaluadas (CV del 146%). De igual manera, cuando se analiza la totalidad de las muestras relacionadas en la literatura se observa nuevamente como el glicerol es el componente más estable (CV del 27%), en tanto que el contenido de metanol y ácidos grasos libres o extracto etéreo, son los más variables. Por otro lado, en algunas muestras de glicerina se encuentran valores de glicerol menores al 80% (13 de 26 muestras) y de metanol mayores a 1500 ppm (9 de 26 muestras), cifras que calificarían a estos recursos alimenticios como no aptos, por el efecto tóxico del segundo, para su inclusión en dietas de no rumiantes (AAFCO 2010).

Tabla 1-1: Composición de química y valor de energía bruta de glicerina utilizada en alimentación de aves

Tipo de glicerina	Humedad (%)	Glicerol (%)	EE (%)	NaCl (%)	Metanol (%)	EB (Kcal/Kg)	Fuente
Aceite de soya	1.3-27.0	37.6-82.0	0.04-54.3 ¹	0.5-5.7	0.02-3.77		Zavarize et al., 2014
Aceite de soya	11.1-12.6	71.3-80.7	0.22-10.3 ¹	0.9-6.1	0.01-1.89	3402-3706	
Soya + cebo	6.8-11.6	67.3-76.9	4.2-20.8 ¹	0.7-5.5	0.23-0.24		
Aceite de soya	8.0				<0.05	4198	Gianfelli et al., 2011
Aceite de colza	8.0	86.8	0.49		0.04	3726	Nemeth, et al., 2013
Aceite de soya	12.4	70.0			0.01	3661	Lima et al., 2012
Mezcla	38.9	9.9			<0.01	3608	
Aceite de soya ²	7.8-34.9	24.2-86.1	0.01-30.0	0.01-4.21	<0.01-3.1	3337-6742	Jung y Batal, 2011a
Aceite de palma	8.2	84.2	1.0%		0.02	3547	Avellaneda et al. 2011
USP	0.35	99.62	0.02	0.01	ND	4325	Dozier III et al., 2011
Aceite de soya	8.3-13.4	81.3-85.7	0.01-0.28	2.8-6.6	0.01-0.12	3489-3751	
Grasa animal	4.1-24.4	51.5-93.8	0.04-34.8	0.01-1.9	0.03-14.9	3173-6021	
No refiere	9.6	86.9	0.29	3.1	0.03	3625	Dozier III et al., 2008

ND: No determinado; ¹ Corresponde a materia orgánica no glicerinosa; ² los valores de composición química corresponden a 10 muestras, mientras que los de energía bruta a 7 muestras

1.3 Valor energético de la glicerina

1.3.1 Metabolismo del glicerol

El valor de energía metabolizable (aparente, verdadera y/o corregida por nitrógeno) es el principal factor nutricional que gobierna los sistemas de alimentación de aves y domina, dadas las características de la glicerina, su uso en una matriz de formulación comercial. En general, se considera a la glicerina como una fuente de glicerol, con un aporte limitado de grasa, cuya aparición generalmente está asociada a ineficiencias en el proceso de producción del biodiesel (Ariza, director de calidad BioD SA, comunicación personal). En este sentido, el metabolismo de la glicerina está relacionado principalmente con el de los carbohidratos.

El glicerol, que es una molécula de bajo peso molecular y alta solubilidad en agua muestra una rápida absorción a nivel intestinal, por transporte activo (transportador dependiente de sodio) o transporte pasivo (Kato et al., 2004). El glicerol libre junto con los ácidos grasos de cadena corta es absorbido directamente en la mucosa del intestino delgado y transportados al sistema portal (Leeson y Summers, 2001). Una vez el glicerol es absorbido y transferido al hígado, es convertido a glucosa (Emmanuel et al., 1983; Hibuse et al., 2006), piruvato, u otros productos del ciclo de Krebs, como malato y oxalacetato u oxidado, vía acetil CoA (Murray et al., 2003), para la producción de energía (22 moles de ATP/mol de glicerol). La utilización del glicerol depende de las enzimas Glicerol Quinasa y Glicerol 3 fosfato deshidrogenasa (Brody, 1999), cuando la capacidad de estas dos enzimas es superada, el glicerol no puede ser utilizado y por lo tanto es excretado, vía renal.

1.3.2 Efecto de la edad sobre el valor de EMA de la glicerina

La edad de las aves afecta el valor de energía disponible de un recurso alimenticio. La evidencia inicial del efecto de la edad sobre el valor de energía disponible fue reportada inicialmente por Sibbald et al. (1960) y confirmada posteriormente en diferentes investigaciones realizadas en la década de los 70's y reportadas en una revisión realizada por Sibbald (1982). Esta dinámica fue estudiada en detalle por Zelenka (1973) donde se encontró un rápido descenso en el valor de energía disponible hasta alcanzar un mínimo a los seis a ocho días de edad, para luego incrementar rápidamente hasta los 14 días de edad y un posterior incremento de manera curvilínea hasta los 70 días de edad. El descenso inicial es atribuido a la excreción de subproductos por la utilización de la yema y el subsecuente incremento refleja una reducción en la utilización de la yema, pero después de su desaparición, el posterior incremento hasta los 14 días de edad es difícil de explicar.

En el caso de la glicerina, dadas las características metabólicas descritas de este coproducto, se han realizado recientemente una serie de estudios sobre el valor de energía disponible y estaría asociada con el diferencial de producción de calor durante su utilización. Al respecto, en el estudio de Lima et al. (2013) sobre la determinación del valor de EMA de glicerinas con diferente composición química, se concluyó que los pollos de engorde más jóvenes (8-10 días de edad) obtienen entre 5 y 7% más de EMAn (4423 Kcal/Kg), comparado con aves en crecimiento (28-30 días de edad y 4070 Kcal/Kg) y entre 20 y 26% más EMAn, cuando se compara con pollos en la fase final de engorde (38-40 días de edad y 3604 Kcal/Kg), como un promedio para tres diferentes glicerinas. Sin embargo, cuando se analizó separadamente cada una de las glicerinas, GMIX®, que contenía mayor humedad, presentó una tendencia cuadrática ascendente en la respuesta a la edad, con un menor uso en la fase de finalización (Lima et al., 2013). La anterior respuesta fue similar a lo reportado por Dozier III et al. (2008), en donde el valor de EMA de la glicerina cruda fue 8% más alto para aves jóvenes (7-10 días de edad) comparado con el valor para otras edades. Sin embargo, a diferencia de lo reportado por Lima et al. (2013), no se observó una disminución durante la fase de finalización del ciclo comercial de pollos de engorde.

Un trabajo preliminar, desarrollado por el grupo de investigación en Colombia, determinó el valor de valor de EMAn de glicerina cruda de aceite de palma y se encontró una tendencia diferente, reportando los siguientes valores: 2915 kcal/kg para preiniciación (1-

10 días de edad), 3014 kcal/kg para iniciación (11 a 24 días de edad) y 3255 kcal/kg para finalización (25 a 36 días de edad), de esta manera el valor de EMA durante la última fase representa 11% más de energía disponible que para la primera fase (Ariza et al., 2012). La respuesta local contradictoria puede explicarse por el origen y calidad de la glicerina cruda y las condiciones experimentales, ya que estos trabajos se realizan en el trópico de altura.

Es importante mencionar que, al incrementar la edad, el pollo de engorde presenta cambios significativos en la actividad enzimática por gramo de intestino (Uni et al., 1998), que permite lograr un mayor consumo de alimento en el tiempo. Además, con el crecimiento de las vellosidades intestinales, que tiene un máximo entre el día 8 y 14 de edad, se incrementa la actividad de enzimas de borde de cepillo, como las maltasas y las sucrasas (Uni et al., 1996), lo que contribuye a una mayor digestión de los carbohidratos. Finalmente, el tiempo de pasaje decrece en cerca de 25% entre el día 4 y el 10 de edad (Noy y Sklan, 1995), lo que afecta positivamente la digestión y absorción de nutrientes. Estos hallazgos sugieren un mejor uso del glicerol en aves maduras. Sin embargo, como se mencionó previamente, el glicerol no requiere transformación intestinal para ser absorbido, ya que se trata de la molécula libre que se mueve a través del enterocito por transporte pasivo y es considerado un sustrato gluconeogénico (Emmanuel et al., 1983). En este sentido, para un ave recién eclosionada y durante el periodo de descenso del valor energético de la dieta, podría ser una alternativa para incrementar el nivel de glucosa corporal, mientras se alcanza los umbrales de funcionalidad del sistema digestivo.

En resumen, dadas las características de la glicerina no es claro el efecto de la edad sobre la utilización de glicerol, siendo una prioridad la realización de estudios de investigación en contextos locales de producción que permitan definir valores reales de EMA asociados a sistemas de alimentación por fases y con niveles de inclusión particulares del coproducto. Por otro lado, cuando se evalúa la EMA de la glicerina en ponedoras adultas se reportan valores con metabolibilidad superior al 100%, como en el trabajo de Lammers et al. (2008), (EMAn de 3805 kcal/kg y EB de 3625) o un valor de 3970, para una glicerina con solo 73.8% de materia seca y 0.4% de grasa (Swiatkiewicz y Kolereski, 2009), lo anterior indica un mayor grado de complejidad de la valoración de la energía disponible del coproducto, ya que sugiere sinergismos entre la glicerina y otros recursos alimenticios de la dieta y las

aves adultas parece que hacen un uso eficiente de este recurso. En conclusión, no se observa un consenso en el estado del arte, en cuanto a la capacidad de uso de la glicerina asociada a la edad de las aves, evidenciando la necesidad de realizar más estudios al respecto.

1.3.3 Definición del valor de EMA

Los valores de Energía Metabolizable Aparente (EMA) de la glicerina reportados en la literatura para pollos de engorde en crecimiento y ponedoras en postura se observan en las tablas 1-2 y 1-3, respectivamente. El análisis de estos valores de EMA, ajustados a la base seca muestran, en glicerinas con menos de 5% de grasa, un amplio rango de variación, que va de 3490 a 4444 kcal/kg, en tanto que la metabolizabilidad varía entre 82 y 107%. Lo anterior deja en claro la necesidad de incluir, en posteriores estudios, el detalle de la caracterización química de las glicerinas evaluadas, para poder aproximarse de una manera mecánica a la predicción del uso biológico de este recurso.

Tabla 1-2: Valores de energía de glicerina proveniente de la producción de biodiesel en pollos de engorde durante la fase de crecimiento

Tipo de glicerina	EB (Kcal/Kg)	EM ¹ (Kcal/Kg)	EM/EB	Glicerol (%)	EM/g Glicerol ²	Fuente
Aceite de soya	3494	3145	0.90	80.7	3.87	Zavarize et al., 2014
Aceite de soya	3707	2669	0.72	71.3	2.46	
Aceite de soya	3409	2898	0.85	74.3	3.20	
Soya+cebo	6206	5027	0.81	40.3	2.61	
Aceite de soya	4198	3561	0.85			Gianfelli et al. 2011, p. 257
Aceite de soya	3662	3282	0.89	70.0	4.13	Lima et al., 2012
Refrito+cebo	4123	5693	1.38	9.9	42.6	
Semipurificada	3697	3721	1.00	79.3	4.59	
Aceite de soya	3902	3252	0.83	85.7	3.70	Jung y Batal 2011a
Aceite de soya	3842	3143	0.82	86.1	3.19	
Aceite de soya	6742	6549	0.97	57.4	8.72	
Aceite de soya	6734	6711	0.99	44.6	12.44	
Aceite de soya	3680	3390	0.92	84.1	3.94	
Aceite de soya	3337	2950	0.88	66.6	4.28	
Aceite de soya	4298	3450	0.80	58.3	3.50	
Aceite de palma	3547	3255	0.92	84.2	3.76	Avellaneda et al., 2011

Tabla 1-3: (Continuación)

USP	4325	3662	0.85	99.6	3.49	Dozier III et al., 2011
Aceite de soya	3627	3364	0.92	83.9	4.01	
Aceite de soya	3601	3849	1.06	83.5	4.61	
Aceite de soya	3676	3479	0.94	85.7	4.06	
Aceite de soya	3670	3889	1.06	83.9	4.61	
Aceite de soya	3751	3644	0.97	84.6	4.28	
Aceite de soya	3489	3254	0.93	83.1	3.91	
Cebo	3173	3256	1.02	73.6	4.42	
Cebo	5581	3476	0.62	51.5	2.71	
Aceite de pollo	4153	4100	0.99	93.8	4.36	
Aceite de pollo	6021	4143	0.68	52.8	2.33	
No refiere	3625	3331	0.92	86.9	3.80	Dozier III et al., 2008

¹ En el trabajo de Jung y Batal (2011a), se determinó EMVn, mientras que los otros trabajos corresponden a EMAn; ² Realizando la corrección por el aporte energético de la grasa ($((239*(38,11 - 0,009*Grasa) - 15,34*EXP(-0,506*0,1))/1000)*Grasa$)

Tabla 1-4: Valores de energía de glicerina proveniente de la producción de biodiesel en gallinas ponedoras

Tipo de glicerina	EB (Kcal/Kg)	EM ¹ (Kcal/Kg)	EM/EB	Glicerol (%)	EM/g Glicerol ²	Fuente
Aceite de colza	3726	3657	0.98	86.8	4.16	Nemeth et al., 2013
USP (A. Palma)	4123	3984	0.96	95.7	4.16	Rubiano et al., 2011
Técnica (A. Palma)	3969	3907	0.98	93.2	4.19	
Aceite de palma	3453	3042	0.88	76.2	3.99	
No refiere	3625	3804	1.05	86.9	4.36	Lammers et al., 2008

De acuerdo con este enfoque de análisis, la concentración de moléculas energéticas (glicerol y grasas, principalmente) y el nivel de impurezas (agua, minerales traza, metanol) son determinantes en la utilización de este recurso por parte de las aves, ya que si bien, a lo largo de los diferentes estudios los valores de EMA de glicerinas son comparables, cuando se corrige por la concentración de glicerol, deduciendo el aporte de EMA que hace la grasa, se encuentran que, por ejemplo, el valor de EMA por gramo de glicerol es de 3.67 para una glicerina USP y de 4.61 para una glicerina cruda nombrada REG-R, en el estudio de Dozier III et al. (2011), o de 3.6 y 4.1 para dos glicerinas crudas en de Lima et al. (2013), o de 3.7 y 4.42 para las glicerinas 1 y 6 del estudio desarrollado por Jung y Batal (2011a),

cuya mayor diferencia radica solo en la concentración de humedad del coproducto. Las diferencias mencionadas anteriormente han llevado a que investigadores (Dozier III et al., 2011; Lima et al., 2013; Jung y Batal, 2011a;) realicen estudios de glicerinas con valores de composición disimiles, para poder definir los factores que afectan el valor de uso de energía con base en su composición. Sin embargo, esta aproximación empírica registra bajos coeficientes de correlación ($R^2= 0.25$ para EMA) y no considera los coeficientes de orden biológico para estos tipos de macromoléculas.

Al hacer una aproximación estadística de los resultados reportados en la literatura, a través de una regresión múltiple sin intercepto, de los datos de la EM y la composición química (de aquellos reportes de glicerinas cuyo valor biológico no excede al de energía bruta), se encuentra un coeficiente de 3.99 kcal/g (0.07 de error estándar), para la concentración de glicerol y 6.59 kcal/kg (0.39 de error estándar) para grasa. El valor de 3.99 es consistente con el que se otorga, en razón a una digestibilidad del 97%, al almidón y al azúcar en aves en Brasil (Rostagno 2011), mientras que 6.59 kcal/kg es el 75% del valor considerado para recursos alimenticios categorizados como grasas en las tablas brasileñas. Es importante mencionar que la mayoría de la grasa presente en la glicerina corresponde a ácidos grasos libres (Dozier III et al., 2011), que no pudieron ser recuperados en la planta de biodiesel y cuyo valor de digestibilidad es menor que el de los triglicéridos, debido a la reducida formación de micelas en el intestino, lo que en el caso de ácidos grasos libres de aceite de soya o palma implica una reducción significativa en el valor de EMA, entre 15 y 46% para aves jóvenes (Leeson et al., 2000).

La predicción de la relación EMA/EB ha demostrado tener una mayor exactitud ($R^2 = 0.65$, Dozier III et al., 2011), lo que sugiere que la determinación de la EB es un parámetro relevante para el cálculo de la EMA. Sin embargo, el análisis realizado por el grupo de investigación permite deducir algunas inconsistencias entre el valor de EB presentado en los documentos y la estimación a través de su composición química y valoración energética de las macromoléculas. Por ejemplo, el valor de energía bruta (EB) de glicerina USP, se ubica alrededor de 4113 kcal/kg (datos de 7 lotes procesados en el Laboratorio de Nutrición Animal de CI-Tibaitata) y 4325 kcal/kg (Dozier III et al., 2011), lo que le confiere a la molécula de glicerol un coeficiente de energía bruta cercano a 4.15 kcal/g; el valor de EB

de la grasa es cercano a 9.4 kcal/g, el proteína es de 5.6 kcal/g y el calor de combustión del metanol es cercano a 11.9 kcal/g. De esta manera, a través de la composición química se puede hacer una estimación de la energía bruta de la glicerina, sin embargo, como se mencionó anteriormente, se encuentran cifras que difieren ampliamente de la estimación a partir de su composición química. En ese sentido, se evidencian casos de subestimación (glicerina GMIX, Lima et al. (2013), ya que el valor del estudio fue 4123 kcal/kg y el valor estimado es de 2247 kcal/kg, en otro ejemplo, la glicerina No. 4 del estudio de Jung y Batal, (2011a) posee un valor de 6734 kcal/kg mientras que el valor estimado es de 3274 kcal/kg, la anterior respuesta puede estar relacionada con la presencia de impurezas orgánicas no contabilizadas en el análisis. Los casos de sobreestimación (glicerina USB-GA, Dozier III et al. (2011), valor calculado 5581 kcal/kg vs valor estimado 6238 kcal/kg), sugieren un problema de orden analítico. Lo anterior resalta la necesidad de incluir el valor de análisis de EB de la muestra, para mejorar la predicción de la EM de la glicerina.

De otra parte, los desarrollos futuros de investigación deben buscar una metodología orientada a estimar el valor de EM de la glicerina teniendo en cuenta el tipo de dieta basal, ya que al usar dietas sin grasas, tratando de evitar interferencias con los resultados (Dozier III et al., 2011; Dozier III et al., 2008), se puede disminuir el aporte de fosfolípidos y monoglicéridos que limitan la digestibilidad de los ácidos grasos libres, lo cual resulta en la subestimación del valor biológico de este recurso, cuando se evalúan glicerinas con un alto contenido de grasa, en forma de ácidos grasos libres.

1.4 Glicerina y desempeño de las aves

1.4.1 Niveles máximos de inclusión

Los estudios iniciales de utilización de glicerina en la era de los biocombustibles se realizaron en pollos de engorde con glicerina USP en niveles hasta del 25%, en donde se observó que las tasas de ganancia de peso corporal fueron máximas a valores de inclusión entre el 5 y el 10% (Simon et al., 1996), registrándose un desempeño negativo en inclusiones superiores al 20%, resultados que son consistentes con lo reportado posteriormente por Barteckzo y Kaiminsky (1999). Más recientemente, Mandalawi et al.

(2014), concluyeron que la inclusión de glicerina en niveles hasta del 10% no afecta el desempeño en producción de pollos de engorde durante la fase de iniciación (hasta el día 21 de edad) y Henz et al. (2014), reportaron los máximos desempeños para pollos de engorde, durante los primeros 10 días de crecimiento, con niveles cercanos al 9% de inclusión. En contraste, Cerrate et al. (2006), utilizando glicerina pura, encontraron que el desempeño máximo se observa con inclusiones cercanas al 5%, estimación que ha sido soportada por otros autores (Avellaneda et al., 2009a; Guerra et al., 2011; McLea et al., 2011; Pereira et al., 2015).

Con respecto a los niveles máximos de inclusión de glicerina, Romano et al. (2014), concluyen que una inclusión del 10% de glicerina excede la capacidad para metabolizar el glicerol, lo que se refleja en un incremento en los niveles sanguíneos de esta molécula, situación que es más evidente en los primeros días de suministro y que coincide con una mayor concentración de agua en las excretas reportado por Gianfellici et al. (2011). Finalmente, se puede concluir que los límites máximos de inclusión de glicerina en dietas para pollos de engorde son un aspecto que aún no está totalmente definido y que puede estar relacionado con la calidad de la glicerina y la edad de las aves, por lo que un rango de uso entre 2.5 y 5% parece ser la opción más segura desde el punto de vista biológico.

En gallinas ponedoras, los valores de inclusión de hasta el 15%, evaluados durante periodos cortos (menos de dos semanas), en los bioensayos encaminados a determinar el valor de EM de la glicerina, no afectaron el desempeño de las aves (Lammers et al., 2008; Nemeth et al., 2013). Por otra parte, los estudios de alimentación de larga duración, desarrollado en otros países, han evaluado niveles máximos entre el 6 y el 7.5% de inclusión, con una respuesta similar comparada con el grupo control (Boso et al., 2013; Swiatkiewicz y Kolereski, 2009; Yalcin et al., 2010). Una excepción fue el estudio desarrollado por Mandalawi et al. (2015), en donde se evidencio un deterioro de la conversión alimenticia. En un trabajo desarrollado en Colombia por el grupo investigación, donde se evaluó la inclusión de glicerina cruda en niveles hasta del 15%, durante dos meses, se observó una disminución en el consumo de alimento en niveles altos (12 y 15%), pero no se evidencio un efecto negativo sobre el desempeño de las aves (Avellaneda et

al., 2013). En conclusión, la inclusión de glicerina cruda en dietas para gallinas ponedoras puede tener un rango máximo de inclusión entre el 7.5% a 10%.

1.4.2 Respuesta en producción al consumo de glicerina en aves

Diversos estudios muestran que la utilización de glicerina genera una respuesta similar en dietas comparada con aquellas sin inclusión del recurso, especialmente en gallinas ponedoras al formular dietas isoenergéticas (Yalcin et al., 2010; Swiatkiewicz y Kolereski 2009; Min et al., 2008).

Cuando se incluye glicerina en las dietas y se observa una respuesta positiva en las aves, esta se puede atribuir a:

- 1) El consumo de glicerol incrementa la retención de nitrógeno debido a que el glicerol permite el ahorro de aminoácidos glucogénicos, vía inhibición de la fosfoenol piruvato carboxiquinasa (Wapnir y Stiel, 1985).
- 2) El aporte de energía neta es mayor comparado con el de los recursos que reemplaza. En el modelo de simulación Avinesp (2014), se utiliza el concepto de energía efectiva (EE) como una forma de sistema neto y le confiere un valor de 100% a la relación EE/EMA, mientras que para otros recursos esta relación es menor (pe. maíz: 87; glucosa: 90).
- 3) La glicerina mejora la eficiencia para crecimiento, ya que las aves alimentadas con este recurso tienen una relación EMA: ganancia menor (17.4 vs 16.5 kJ/g, para el control y glicerina, respectivamente (McLea et al., 2011).
- 4) El incremento en el uso de glicerol proveniente de la dieta mejora la digestibilidad de la materia seca (Mandalawi et al., 2014; Kim et al., 2013).
- 5) La inclusión de glicerina podría disminuir el tránsito intestinal, permitiendo un mayor tiempo de acción enzimática, lo que permitiría aumentar la digestibilidad de otros componentes de la dieta (Mandalawi et al., 2014). Sin embargo, este efecto podría estar asociado al contenido de grasa presente en la glicerina (Kim et al., 2013).

6) Se podría estar incurriendo en una subestimación del valor de EMA de la glicerina, con lo cual las dietas usadas podrían presentar un mayor valor calórico, como es el caso de Silva et al. (2012), que consideraron una metabolicidad sobre la base la EB, pero que al usar la fórmula de metabolicidad de Dozier et al. (2011), le correspondería un valor superior en 200 kcal/kg, o el caso del valor considerado para las glicerinas 3 y 4 utilizadas por Jung y Batal (2011b), cuyas estimaciones superan en cerca de 800 y 400 kcal, respectivamente, en el valor calculado con gallos adultos con alimentación forzada.

7) No se considera el aporte de energía de otros componentes orgánicos de la glicerina como ácidos grasos libres, glicéridos parciales o proteína, como el caso de Carole et al. (2009), quienes solo contabilizan el aporte del glicerol a la EMA (toman un valor de EMA de 3920 kcal/kg de la glicerina pura y lo multiplican por la concentración de glicerol).

Con relación a los aspectos que pueden afectar negativamente el desempeño de los pollos, cuando son alimentados con glicerina, el análisis de la literatura muestra:

1) La enzima glicerol quinasa, responsable de la retención del glicerol en el riñón, se puede saturar cuando se alimenta usando dietas con 5 o 7% de glicerina (McLea et al., 2011). Estos autores reportan una alta digestibilidad íleal del glicerol, pero que no se expresó en una mejor conversión alimenticia, como sí ocurrió usando dietas con 3.3% de glicerina.

2) Problemas de flujo del alimento en comedero, debido a que la glicerina, como sustrato higroscópico, tiende a hidratarse, expandirse y generar atascamiento que disminuye el alimento ofrecido en los comederos, afectando negativamente la ingesta diaria de alimento (Cerrate et al., 2006; Avellaneda et al., 2009a).

1.4.3 Respuesta en producción asociada a la edad de las aves

El incremento en los parámetros de producción al inicio de la vida del ave puede estar asociado al mayor valor de EMA que ha sido estimado para las fases iniciales de crecimiento (Lima et al., 2013; Dozier III et al., 2008) o a la respuesta que se podría obtener en glucogénesis, pues la actividad amilolítica al inicio de la vida del pollo de engorde es muy limitada (Noy y Sklan, 1995). Por otra parte, la mayor respuesta durante la fase final

del ciclo de producción puede estar relacionada con el aumento en la deposición de grasa corporal, que incrementa el requerimiento de energía (Marcato et al., 2008; Sakomura et al., 2005), lo que se podría lograr de manera eficiente con recursos, cuyo valor de energía neta es mayor. A continuación, se analiza la respuesta a glicerina asociada con la edad.

Respuesta de aves jóvenes al uso de glicerina

En los estudios de alimentación con pollos de engorde el parámetro que más se ha visto afectado de manera positiva por la inclusión de glicerina cruda, con respecto a los grupos control, es la ganancia de peso corporal, cuyos reportes de beneficio son del orden de 15% usando 4, 6 u 8% de glicerina (84.6% de glicerol) del día 7 al 14 (Abd-Elsamee et al., 2010); de 7% al usar 4 u 8% de glicerina (82.6% de glicerol) hasta el día 21 de edad (Topal y Ozdogan, 2013); de 7% al utilizar 5, 7.5 o 10% de glicerina (83.4% de glicerol) durante los primeros 7 días (Silva et al., 2012); de 10% al incluir 3.3, 6.7 o 10% de glicerina (49.0 u 81.0% de glicerol) durante la tercera semana de vida (McLea et al., 2011) o de 6% con 5% de glicerina, hasta el día 14 de edad (Cerrate et al., 2006). Como se puede observar, las respuestas son consistentes con el uso de glicerina cruda cuyo nivel de glicerol es superior al 80%, efectos que en la mayoría de los casos se mantienen hasta el día 21 de edad, pero que desaparecen en la fase de finalización, para lo cual se requiere de una estrategia nutricional que pondere en expresión los efectos obtenidos durante la estructuración del crecimiento.

En cuanto al uso de glicerina cruda y su efecto sobre la eficiencia de uso del alimento se observa que la conversión alimenticia se mejora en un 11% al consumir dietas con 6.7% de glicerina y en 8% al recibir dietas con 3.3 o 10% de glicerina (49.0 u 81.0% de glicerol, McLea et al., 2011); en 2% por la inclusión entre 2.5 y 10% de glicerina (81.6 o 87.5% de glicerol), durante la fase de pre-iniciación (Mandalawi et al., 2014) o en 6 u 8% usando glicerinas con alta concentración de metanol en inclusiones del 10% (glicerina con 57.4% de glicerol) o del 5% (glicerina con 58.3% de glicerol), en el estudio de Jung y Batal (2011b). La literatura muestra las mayores respuestas positivas para esta variable cuando se usaron glicerinas con bajo nivel de glicerol, por lo que se podría asociar esta tendencia a otros

componentes de la glicerina como la grasa, macromolécula que efectivamente mejora la eficiencia alimenticia al ser más efectiva su energía disponible (Kim et al., 2013).

Respuesta de pollos de engorde en fase de finalización al uso de glicerina

Los estudios de inclusión de glicerina y su efecto sobre el desempeño en producción de los pollos de engorde durante la fase finalización son marginales; sin embargo, aquellos en donde se observó un efecto positivo, reportan un incremento en la ganancia de peso corporal que superó a los del grupo control en 12%, cuando se utilizó 5% de glicerina (no se presenta la composición o valor de EMA estimado) y 6% cuando se usó 10% de glicerina durante la cuarta semana de edad (Sehu et al., 2012); en 3% al incluir 10% de glicerina cruda (90% de glicerol) en las dietas entre el día 21 y 35 de edad (Carole et al., 2009) y en 4% al incluir 3% o 6% de glicerina cruda (88.3% de glicerol) en el periodo de 24 a 42 días de edad (Avellaneda et al., 2009b). La respuesta observada en el estudio de Sehu et al (2012) es difícil de explicar por cuanto la calidad de la glicerina no es presentada, sin embargo, en el trabajo de Carole et al. (2009), como se mencionó previamente, no se tuvieron en cuenta otros componentes orgánicos, presentes en la glicerina, para definir su valor de EMA, mientras que en el último estudio posiblemente se subvaloró la concentración de EMA de la glicerina utilizada, pues inicialmente se utilizó una densidad energética de la glicerina en la matriz de formulación de 3400 kcal/kg, pero de acuerdo a las ecuaciones propuestas por Dozier et al. (2011), su valor debería ser cercano a 3600 kcal/kg. Así, la respuesta positiva en desempeño durante la fase de finalización de pollos de engorde puede obedecer a una falta de determinación cierta del aporte energético de este recurso.

Respuesta de ponedoras a la utilización de glicerina

Los estudios de inclusión de glicerina en dietas de ponedoras, en donde se evalúa el desempeño en producción durante el ciclo de postura son escasos, posiblemente puede estar relacionado con la consistencia de los resultados, pues no se han observado diferencias significativas con respecto al grupo control (Swiatkiewicz y Kolereski, 2009; Avellaneda et al., 2009b). Sin embargo, se resalta como hallazgo diferencial en el estudio de Yalcin et al. (2010), que las aves alimentadas con 7.5% de glicerina, consumieron 3%

menos alimento que las de los otros grupos experimentales, siendo este resultado similar (3.3% menos de consumo) al encontrado por Duarte et al. (2014), para niveles de inclusión de 6.0 o 7.5% de glicerina. La respuesta observada en consumo de alimento en el trabajo de Yalcin et al. (2010), se puede asociar a una subestimación del nivel de EMA de la glicerina, que llevó a las aves a ajustar su consumo de alimento, pues el grupo de investigación le asignó el valor de EMA del maíz (3350 kcal/kg) a este recurso, aunque al hacer la estimación teniendo en cuenta la composición (90.2% de glicerol), su valor real de EMA podría estar cercano a 3600 kcal/kg. En el trabajo desarrollado por Suchy et al. (2012), se observó un incremento significativo en el consumo de alimento (9 g más) cuando se reemplazó el 100% del aceite de soya por glicerina cruda, en virtud del menor aporte energético de este recurso, pero cuando el reemplazo fue del 50%, las aves modularon el consumo y no se alejaron del consumo calculado para el grupo control (1 g más). En otro trabajo, que evaluó diferentes relaciones aceite de soya: glicerina cruda, se encontró que las gallinas ponedoras alimentadas con la dieta, cuya relación fue de 1:3, exhibieron similar desempeño en producción, comparado con las que fueron alimentadas con dietas sin glicerina (Cufadar et al., 2016). Por otro lado, Boso et al. (2013), reportan un efecto lineal creciente del consumo de glicerina sobre la producción de huevos y una disminución en el tamaño del huevo por parte de las aves alimentadas con dietas que contenían 3.0 o 4.5% de glicerina cruda, con respecto al control; adicionalmente, Mandalawi et al. (2015), reportan un efecto negativo sobre la conversión alimenticia por kilogramo de huevo, por el consumo de una dieta con 7% de glicerina cruda.

1.5 Glicerina y calidad de los productos de las aves

En general, la literatura sugiere que la inclusión de glicerina no afecta el rendimiento en canal o la proporción de cada una de las fracciones del pollo de engorde (Abd-Elsamee et al., 2010; Silva et al., 2019a; Silva et al., 2019b; Silva et al., 2012), así como tampoco la composición de la grasa abdominal (Sehu et al., 2012), sin embargo, Silva et al., (2019b) reportan un incremento lineal en el porcentaje de grasa abdominal de pollos alimentados hasta el 6% con glicerina semipurificada, lo que puede coincidir con el planteamiento que hace Lin et al. (1976), de que el glicerol aumenta la tasa de síntesis de novo de ácidos grasos y la actividad de las enzimas lipogénicas en el hígado del pollo, respuesta que

contrasta con Topal y Ozdogan (2013), reportan una disminución en la concentración del extracto etéreo en piernas de pollo.

En gallinas ponedoras se encontró que aquellas que consumieron más de 5.0% de glicerina, registraron huevos con 2.5% más de albumina, 29% más de colesterol y una relación de monoinsaturados (AGMI) a saturados (AGS) 5.5% menor, comparado con el grupo control (Yalcin et al., 2010). Esta respuesta contrasta con los resultados obtenidos por Boso et al. (2013), cuando encontraron una relación AGMI/AGS 6.4% mayor, a favor de las aves que consumieron glicerina; adicionalmente, observaron un efecto lineal creciente sobre el contenido de ácidos grasos tipo omega- 6 del huevo. Por otro lado, Duarte et al. (2014), no reportan efecto del consumo de glicerina sobre la relación AGMI/AGS, pero las aves que consumieron glicerina produjeron huevos con 2.3% más de ácidos grasos omega- 6 y 0.52% menos de ácidos grasos omega -3, respuesta que pudo estar influenciada por un alto contenido de ácidos grasos libres de la glicerina utilizada. Por otra parte, Avellaneda et al. (2009b), observaron una disminución lineal en el color de la yema, al incrementar la concentración de glicerina técnica (99.5% glicerol) en la dieta, respuesta relacionada con la disminución en el aporte de carotenoides provenientes del maíz, que fue reemplazado por glicerina.

1.6 Problemas por el uso de glicerina en aves

Adicional a la gran variación en la composición de la glicerina y su efecto sobre la determinación del valor de EM, la contaminación con residuos de metanol y la posibilidad de generar camas húmedas, han limitado la inclusión de este coproducto en las dietas que usa la industria avícola.

1.6.1 Efecto del metanol de la glicerina sobre el desempeño de las aves

El problema asociado con el consumo de metanol se relaciona con el daño hepático y del nervio óptico, ya que este alcohol es metabolizado a formaldehído y posteriormente a ácido fórmico, cuya acumulación es la causa de las anteriores alteraciones en los tejidos (Skrzydłowska, 2003). Sin embargo, dependiendo de la actividad enzimática, este puede ser transformado en agua y dióxido de carbono y eliminado por los pulmones o los riñones

(Henderson y Brubache, 2002). El anterior riesgo es la base para que la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés, Regulación 21 CFR573.640) y la Asociación Americana de oficiales de Control de Alimentos (AAFCO, por sus siglas en inglés, 2010) recomienden un nivel máximo de metanol en la glicerina de 150 y 1500 ppm, respectivamente. Esto sugiere que las dietas deberán contener menos de 7.5 ppm de metanol, proveniente de la glicerina, si llevan una inclusión ideal propuesta del 5%, como se mencionó previamente, para no afectar la salud de las aves, lo que podría corresponder a su vez a un consumo diario máximo, para el periodo de 1 a 15 días de edad, de 0.37 mg de metanol. Sin embargo, en el estudio de Jung y Batal (2011b) dietas al 10% de glicerina, con 3.1% de metanol, mostraron similar respuesta en producción comparado con el control, indicando que, si no se afecta el consumo de alimento (como ocurrió), la ingestión de 155 mg/día de metanol, no afecta el desempeño de los pollos de engorde jóvenes.

En el estudio realizado por Jung y Batal (2011b) orientado a revisar el tema de la inclusión glicerina cruda con una alta concentración de metanol en las dietas, se encuentran respuestas contrastantes con respecto a este alcohol. En un primer experimento se utilizó 5% de glicerina con alta concentración de metanol y los pollos exhibieron una disminución del 5% en la ganancia de peso corporal frente al control, mientras que en el experimento cuatro numéricamente los del 5% de glicerina cruda con alto metanol, ganaron más peso corporal, lo que hizo que la eficiencia alimenticia fuera estadísticamente mayor. De otro lado, cuando en el experimento de dos se utilizó 10% de glicerina cruda con alto metanol se incrementó la eficiencia alimenticia en un 6%, pero cuando en el experimento tres, la concentración de metanol fue baja, la ganancia de peso corporal disminuyó en un 12%. De esta forma, los resultados sugieren que la concentración de metanol podría mejorar el desempeño en producción, más que afectarlo, pero es importante resaltar la necesidad de un mayor número de investigaciones que permitan dilucidar, a nivel metabólico, el efecto de esta molécula, aparentemente tóxica, sobre la respuesta fisiológica y productiva de las aves.

1.6.2 Glicerina y humedad de la cama

El uso de glicerina en pollos de engorde incrementa la humedad de la cama como ha sido reportado por varios autores (Avellaneda et al., 2009a; Cerrate et al., 2006; Guerra et al., 2011; Duarte et al., 2014; Silva et al., 2012), dificultando el manejo de la producción en condiciones comerciales. Un estudio más específico fue realizado por Romano et al. (2011), los cuales encontraron un aumento del 120% en la excreción de agua, cuando los pollos de engorde son alimentados con una inclusión de 20% de glicerina en la dieta. Estos autores concluyen que la mayor excreción es debida a una mayor producción de orina y no a una mayor retención de agua a nivel intestinal, y aunque se controle el consumo de sodio y se ajuste el balance electrolítico dietario o se use glicerina USP, la inclusión de glicerina genera un mayor consumo de agua (Romano et al. 2011, p. 103), el cual está relacionado con la saturación de las enzimas: Quinasa y Dehidroxicetona Fosfato que gobiernan la retención de esta molécula (Lin et al., 1976) y su excreción vía renal. Otro aspecto que podría llegar a explicar el exceso de humedad de las camas se relaciona con la característica higroscópica de la glicerina (GPA 1963) y que, en casos de una alta excreción vía renal, podría llegar a capturar humedad ambiental, haciendo más crítico el fenómeno. En otros estudios la concentración de humedad de las excretas no fue alterada por el consumo de glicerina (Boso et al., 2013).

1.7 Valores agregados por el uso glicerina en dietas para aves

La investigación sobre valores agregados con el uso de la glicerina se ha centrado en las tecnologías de procesamiento y en los efectos sinérgicos sobre el uso de algunos aditivos alimenticios. La inclusión de glicerina en las dietas contribuye al mejoramiento de la calidad del peletizado, en términos de durabilidad (Carole et al., 2006), estabilidad (Swiatkiewicz y Kolereski, 2009) y dureza (Sudekum et al., 2008), efecto que no fue encontrado por Min et al. (2008), quienes en contraste observaron que la inclusión de 5% de glicerina incrementó el porcentaje de finos. De otra parte, el uso de este recurso contrarresta la aparición de microorganismos indeseables, como hongos en el alimento (Sudekum et al., 2008). Igualmente, Delgado et al. (2014), encontraron un efecto sinérgico de la glicerina con un probiótico que contiene un *Lactobacillus* y un *Pediococcus* inhibiendo totalmente la colonización de *Salmonella* en pollos de engorde de un día de edad.

1.8 Conclusiones

A pesar de que varios grupos de investigación en Colombia y a nivel global vienen realizando estudios sobre este coproducto en procesos de desarrollo tecnológico e innovación, el análisis crítico muestra brechas de información y conocimiento que se deben cerrar en el corto plazo sobre el uso de la glicerina y su inclusión en sistemas de alimentación comercial de aves.

Los mayores hallazgos se centran en el uso de la glicerina como fuente energética efectiva con efectos importantes en términos de eficiencia a nivel de granja de los procesos de producción de carne de pollo y huevos. La valoración del coproducto presenta diferentes patrones de inclusión asociados con la variabilidad en la composición química y su eficiencia de utilización desde el punto de vista energético, con coeficientes contrastantes de su valor de EMA, para su inclusión en matrices de formulación comercial. Igualmente, se ha investigado el efecto de la edad cronológica sobre la respuesta biológica durante un ciclo comercial de producción de carne de pollo. Otras respuestas están asociadas con la presencia de metanol y las posibles interacciones con otros aditivos y/o componentes de la dieta, aspectos que han sido definidos de manera empírica, requiriendo de una mayor definición relacionada con la dinámica fisiológica de los procesos de madurez y producción de las aves a nivel de granja.

La trazabilidad del proceso industrial de producción de biodiesel y los efectos de arrastre sobre la elaboración de alimentos balanceados en diferentes fases de producción permitirá optimizar y promover de manera integral la utilización de glicerina con agregados en términos de eficiencia, eficacia y efectividad de la producción de proteína animal a nivel local y regional con efectos estructurales sobre sectores vulnerables de la población colombiana en términos de seguridad alimentaria y la calidad de vida..

2. Capítulo 2. Utilización de glicerina USP durante una restricción energética temprana en pollos de engorde

Resumen

En este estudio se evaluó el efecto de la inclusión de diferentes niveles de glicerina USP en dietas de pollos de engorde sometidos a una restricción energética del 85% del día 5 al 21 de edad. Los pollos de engorde recibieron dietas durante el periodo de restricción con inclusión de 0, 2.5, 5.0 o 7.5 % de glicerina USP. Los tratamientos contaron con 6 repeticiones y 26 pollos por repetición. Diariamente, se determinó la temperatura rectal de dos pollos por repetición. Semanalmente, se midió el peso corporal y los residuales de alimento, lo que permitió calcular el consumo y la conversión alimenticia. Las aves fueron beneficiadas al día 42. La información se analizó a través de un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4x2. Los pollos de engorde restringidos energéticamente depositaron más grasa abdominal ($p < 0.05$) y no lograron alcanzar el peso corporal de los pollos alimentados a voluntad, sin embargo, registraron una menor ($p < 0.05$) conversión alimenticia y relación ventrículo derecho a peso total ventricular (VD/PTV). La inclusión de glicerina USP en las dietas de iniciación afectó linealmente ($p < 0.05$) el momento en que los pollos de engorde lograron estabilizar la temperatura corporal. Además, la conversión alimenticia y el rendimiento en pechuga tendieron ($p < 0.1$) a mejorar con inclusiones entre 2.5 y 5.0% de glicerina USP, durante la fase de iniciación. Finalmente, se observó que, dentro del grupo de pollos alimentados a voluntad, los que consumieron dietas con 5 o 7.5% de glicerina USP registraron un mayor beneficio económico. En conclusión, la utilización de glicerina USP en pollos de engorde alimentados a voluntad mejora la respuesta productiva y económica.

Palabras clave: crecimiento compensatorio, desempeño productivo, temperatura rectal

Summary

In this study, the effect of different USP glycerin levels in diets of broiler chickens with 85% energy restriction from 5 to 21 days of age was evaluated. Broilers received diets including 0, 2.5, 5.0 or 7.5% USP glycerin during restriction period. Each treatment had 6 repetitions and 26 chicks per repetition. Daily, rectal temperature of two chickens was determined per repetition. Weekly, body weight and feed residuals were measured to calculate intake and feed conversion. Broilers were slaughtered at day 42. Variables were analyzed through a completely randomized design with 4x2 factorial arrangement. Energetically restricted broilers deposited more abdominal fat ($p < 0.05$) and did not reach unrestricted body weight, however, they registered a lower ($p < 0.05$) feed conversion and right ventricle-to-total ventricle ratio (RV/TV). Glycerin USP inclusion in initiation diets linearly affected ($p < 0.05$) the moment in which broilers stabilize body temperature. In addition, feed conversion and breast yield tended ($p < 0.1$) to improve with inclusions between 2.5 and 5.0 % glycerin USP, during the initiation phase. Finally, it was observed that, in unrestricted broilers, those who consumed diets with 5 or 7.5% glycerin USP registered a greater economic benefit. In conclusion, USP glycerin use in broiler chickens fed will improve productive and economic responses.

Keywords: compensatory growth, performance, rectal temperature

2.1 Introducción

En Colombia, el consumo de pollo ha incrementado en los últimos años, registrando un crecimiento del 13.3% entre los años 2012 y 2013 (FENAVI, 2016). Por otro lado, los sistemas de producción de pollo de engorde establecidos en el piso térmico frío (superior a 2500 msnm) utilizan esquemas de restricción alimenticia para disminuir la incidencia de ascitis por hipoxia e incrementar la eficiencia de productiva (Uribe, 2011).

Históricamente se considera que la restricción alimenticia es una estrategia que incrementa la productividad de la industria avícola (Sahraei, 2013) al mejorar las tasas de crecimiento (Govaerts et al., 2000; Santoso, 2002) y hacer más eficiente el sistema de alimentación (Plavnik y Hurwitz, 1991; Tůmová et al., 2002); sin embargo, en las últimas investigaciones reportadas en la literatura, la eficiencia de este proceso no arroja resultados positivos

concluyentes (Azis et al., 2011; Fanooci y Torki, 2010; Mohebodini et al., 2009; Ozkan et al., 2010; Zhan et al., 2007), lo que sugiere que las estirpes modernas exhiben un patrón de crecimiento compensatorio diferente, que debe ser estudiado con estrategias de alimentación particulares para cada estirpe.

Con el incremento en la producción mundial de biodiesel se ha incrementado exponencialmente la oferta de glicerina, el principal coproducto de la producción de este biocombustible (Thompson y He, 2006), y disminuido el precio en el mercado (por ejemplo, el precio de la glicerina USP se redujo en 77.5% entre el 2000 y el 2010 (Ciriminna et al., 2014). La anterior situación, junto al hecho de que la utilización no afecta la salud de animal o la calidad de la carne (Beserra et al., 2016), posibilita el uso de este coproducto como un recurso energético alternativo en sistemas de alimentación animal (Bordignon et al., 2017; Lokesha et al., 2017; Silva et al., 2014). Además, el glicerol en monogástricos es absorbido a nivel intestinal en altas cantidades (Kato et al., 2004), debido al bajo peso molecular y a que la absorción se realiza a través de sistemas pasivos (Emmanuel et al., 1983), constituyéndose así en un recurso con alto valor de energía efectiva (Emmans, 1994).

Los estudios realizados en alimentación de aves han concluido que la pureza de la glicerina es un determinante en el nivel de utilización (Jung y Batal, 2011b; Souza et al., 2017). En ese sentido, en los estudios iniciales con pollos de engorde se utilizó glicerol de alta pureza y se observó una respuesta productiva óptima (Simon et al., 1996), posteriormente, se han usado gliceras con diferente nivel de pureza y se ha observado un efecto positivo tanto al comienzo (Abd-Elsamee et al., 2010; McLea et al., 2011; Silva et al. 2012, p. 199) como al final del periodo de engorde (Avellaneda et al., 2009a; da Silva et al., 2017).

Dada la respuesta diferenciada a la restricción alimenticia y la posibilidad de usar glicerina, que ha demostrado atenuar el esfuerzo cardiaco en humanos (Anderson et al., 2001; Coutts et al., 2002), se planteó este estudio cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la inclusión de glicerina USP en dietas de pollos de engorde sometidos a una restricción energética leve (85% del consumo energético a voluntad), del día 5 al 21 de edad, en condiciones de altitud.

2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 Unidades experimentales

Para este estudio se utilizaron 1248 pollos de engorde de la estirpe ROSS, de un día de edad, criados a una densidad inicial de 52 aves por corral (20 aves/m²), disminuyéndose, después del día 21 de edad hasta el día 42 de edad, a 25 pollos por corral (9.6 aves/m²), considerando 6 repeticiones por tratamiento y 26 aves por repetición.

2.2.2 Aval de Comité de Bioética

Los protocolos de manejo animal fueron avalados por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (acta 05).

2.2.3 Ubicación

Este estudio se realizó en la Unidad de Avicultura del CI Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia, ubicada a 2516 msnm (4.685222 - 74.204722).

2.2.4 Glicerina

Se utilizó glicerina USP o grado alimenticio (4208 kcal/kg de EB, 1.1% de humedad, 95.7% de glicerol, 0.8 ppm de metanol). Se usó un valor de energía disponible de 4039 kcal de EMAn/kg, obtenido en un estudio previo realizado por el grupo de investigación (Ariza et al., 2012).

2.2.5 Dietas experimentales

Se diseñaron y formularon dos dietas, una con concentraciones normales de nutrientes no-calóricos, que se suministró a los pollos no restringidos, y una concentrada en nutrientes no-calóricos, para los pollos correspondientes a los tratamientos restringidos, buscando reducir exclusivamente durante el período de restricción el consumo de energía. En las dietas de cada grupo experimental se incluyó la glicerina USP en concentraciones de 0.0,

2.5, 5.0 y 7.5%. Las dietas fueron constituidas básicamente por torta de soya y maíz, como se presenta en la tabla 2-1.

Después del periodo de restricción (día 22 de edad), los pollos de engorde de todos los grupos experimentales recibieron un alimento tipo comercial para la fase de crecimiento (3100 Kcal de EM/Kg, 19.5% de PC, 1.0% de lisina digestible, 0.86% de Ca) hasta el día 35 de edad y otro para la fase de finalización (3150 Kcal de EM/Kg, 18.5% de PC, 0.95% de lisina digestible, 0.76% de Ca) hasta el día 42 de edad.

Tabla 2-1: Dietas experimentales durante la fase de iniciación (0- 21 días de edad)

Ingredientes	Dietas a voluntad				Dietas restricción			
	Glicerina 0.0%	Glicerina 2.5%	Glicerina 5.0%	Glicerina 7.5%	Glicerina 0.0%	Glicerina 2.5%	Glicerina 5.0%	Glicerina 7.5%
Maíz	56.83	54.38	51.30	46.88	53.18	50.51	47.84	45.17
Glicerina USP	0.00	2.50	5.00	7.50	0.00	2.50	5.00	7.50
Harina de arroz	8.00	8.00	8.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Torta de soya 45	29.15	29.41	30.24	32.37	38.90	39.35	39.80	40.25
Harina de pescado	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Aceite de soya	0.53	0.22	0.00	0.00	1.61	1.32	1.04	0.76
Sal (NaCl)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.35
Bicarbonato de sodio	0.33	0.33	0.30	0.20	0.48	0.47	0.46	0.45
Carbonato de Ca	0.93	0.92	0.91	0.88	1.02	1.01	1.00	0.99
Fosfato monobásico	1.18	1.20	1.23	1.25	1.59	1.61	1.64	1.66
DL-Metionina	0.20	0.20	0.20	0.19	0.24	0.25	0.25	0.26
HCl Lisina	0.27	0.26	0.24	0.18	0.24	0.24	0.23	0.22
L-Treonina	0.11	0.11	0.11	0.08	0.11	0.11	0.11	0.11
Cloruro de colina 60%	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08
Premezcla vit y min*	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70
Análisis calculado								
EM (Mcal/Kg)	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950
Proteína cruda (%)	21.4	21.3	21.2	21.6	24.7	24.7	24.7	24.7
Calcio (%)	0.89	0.89	0.89	0.89	1.05	1.05	1.05	1.05
Fósforo disponible (%)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.53	0.53	0.53	0.53
Lisina digestible (%)	1.21	1.21	1.21	1.21	1.41	1.41	1.41	1.41

*Premezcla de vitaminas y minerales (aporte por kilogramo de dieta): vitamina A, 8500 IU; vitamina D3, 3200 IU; vitamina E, 32 IU; vitamina K3, 2.0 mg; tiamina, 4.0 mg; riboflavina, 5.5 mg; niacina, 42 mg; ácido pantoténico, 15 mg; piridoxina, 4.2 mg; biotina, 0.1 mg; ácido fólico, 1.1 mg; vitamina B12, 0.02 mg; colina, 1.1 mg; Zn, 80 mg; Mn, 70 mg; Fe, 55 mg; Cu, 12mg; I, 1.1 mg; Se, 0.4 mg

2.2.6 Instalaciones y manejo animal

El bioensayo se llevó a cabo en corrales en piso con cama de cascarilla de arroz. La temperatura inicial ambiental fue de 34°C y se realizó una reducción semanal de 3°C, terminando en una temperatura ambiente que oscilaba entre 18 y 23°C. La iluminación para la primera semana fue continua y a partir de la segunda semana se contó con 16 horas de luz (4 iluminación artificial) y 8 de oscuridad.

2.2.7 Protocolo experimental

Los pollos de engorde, durante los cuatro primeros días del ciclo, tuvieron acceso sin restricción al alimento, luego de este tiempo, a los grupos restringidos se les ofreció el 85% del consumo de alimento mediante el uso de los estimativos de un modelo de simulación basado en los datos históricos de la unidad de investigación, el cual se ajustó diariamente según el nivel de alimento residual que se midió en los comederos. Se consideró como variable de madurez fisiológica la regulación de la temperatura rectal de los pollos de engorde, para ello, se tomaron de cada repetición dos pollos de engorde marcados y se les hizo seguimiento diario del peso corporal y la temperatura rectal (TR), hasta el día 21 de edad, esta última variable se ajustó a dos tipos de modelos de predicción: Lineal (TR) = $asíntota + k \cdot (Plateau - edad) \cdot 1$, si $edad < Plateau$, 0; Cuadrático (TR) = $asíntota + k \cdot ((Plateau - edad)^2) \cdot 1$, si $edad < Plateau$, 0.

Durante el estudio se realizaron pesajes semanales del grupo de pollos de cada repetición y se midió el residual de alimento. Al día 42 de edad se tomaron dos pollos, con el peso corporal promedio de la repetición, y se beneficiaron en una línea de sacrificio comercial, para reportar el rendimiento en canal caliente y el peso de cada una de las fracciones de cortes comerciales de carne de pollo. De los pollos de engorde que murieron durante el estudio y los que se sacrificaron para determinar el rendimiento de las fracciones se obtuvo el corazón, el cual fue preservado en formalina hasta el final del estudio, momento en el que se diseccionó el ventrículo derecho y se relacionó con el peso total ventricular (VD/PTV o índice cardíaco, IC), como un indicador de incidencia de ascitis. El pesaje se realizó en balanza analítica con sensibilidad de 0.01 g.

2.2.8 Análisis estadístico

La información se analizó a través diseño completamente al azar con arreglo factorial 4x2, considerando los cuatro niveles de glicerina USP en la dieta y las dos ofertas energéticas asociadas a la restricción alimenticia. Los efectos principales se evaluaron por medio de una prueba de Tukey y la interacción por medio de una prueba de medias ajustadas. Adicionalmente, se evaluó el tipo de efecto (lineal, cuadrático o cúbico) de la inclusión de glicerina USP en la dieta. Para determinar el momento en que la temperatura rectal de los pollos de engorde llegó a una asíntota, se ajustaron dos tipos de modelos de broken line, uno de fase ascendente lineal y uno de fase ascendente cuadrática, con el procedimiento NLIN de SAS. La información fue procesada a través del paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS Inst., Inc., Cary, NC), con el procedimiento GLM.

2.3 Resultados y discusión

2.3.1 Temperatura rectal

De los modelos matemáticos utilizados para estimar la temperatura rectal de los pollos de engorde, el mejor ajuste fue observado para el modelo de crecimiento inicial cuadrático respecto al modelo lineal (R^2 : 0.51 vs 0.44 y CME: 0.298 vs 0.345). Por otro lado, los pollos de engorde en este estudio ajustaron rápidamente la temperatura corporal, ya que al día 8 de edad, la población alcanzó un valor superior a 41°C, mientras que, a nivel general se considera que la temperatura rectal se estabiliza entre los días 10 y 15 días de edad (Furlan y Macari, 2002). Sin embargo, para poder explicar la tendencia observada se reconoce que los pollos de engorde criados a bajas temperaturas aumentan la tasa metabólica para poder ajustar y termorregular más rápidamente (Furlan y Macari, 2002).

Tabla 2-2: Parámetros del modelo broken line cuadrático ajustado a la temperatura rectal de pollos de engorde restringidos energéticamente y alimentados con glicerina USP

Consumo de energía	Glicerina (%)	Máximo (°C)	Tasa Constante	Edad al plateau (d)
A Voluntad	0.0	41.0	-0.093	7.3
	2.5	41.1	-0.057	9.5
	5.0	41.1	-0.040	11.5
	7.5	41.1	-0.055	9.7
Restringido	0.0	40.9	-0.112	5.5
	2.5	41.0	-0.051	9.3
	5.0	40.9	-0.040	7.8
	7.5	41.1	-0.019	12.2
EEM		0.032	0.019	1.536
Efecto ¹				
Restricción energética		NS	NS	NS
Glicerina		NS	*	NS
Tipo de efecto		NS	Lineal	Lineal
Consumo*Glicerina		NS	NS	NS

¹*: <0.05; NS: No significativo

La restricción alimenticia no afectó ($p > 0.05$) ninguno de los parámetros de la modelación de la temperatura rectal. El anterior efecto también fue reportado por Olukomaiya et al. (2015), quienes evaluaron dos estrategias de restricción alimenticia sin encontrar diferencias en la temperatura rectal al final del periodo de restricción (día 35 de edad); sin embargo, otros autores utilizan la estrategia de la restricción alimenticia para lograr que los pollos se adapten mejor al estrés calórico (Abioja et al., 2014), logrando que su temperatura rectal sea menor. Por otro lado, la inclusión de glicerina USP en las dietas de iniciación disminuyó linealmente la tasa constante del modelo cuadrático seleccionado (tabla 2.-2), lo que hizo que la edad a la cual se estabiliza la temperatura rectal fuera mayor al incluir glicerina en la dieta. El resultado de la glicerina USP sobre la temperatura rectal puede ser consecuencia del efecto termorregulador observado en atletas humanos hiperhidratados con glicerina (Easton et al., 2007; Lyons et al., 1990), en donde el uso de este coproducto incrementa la tasa de sudor y la temperatura externa, efectos que se asocian con el incremento en el flujo sanguíneo periférico, lo que podría aumentar la disipación de calor vía radiación, conducción y convección (van Rosendal et al., 2009; Anderson et al., 2001).

2.3.2 Desempeño durante la fase de iniciación

Los pollos de engorde alimentados a voluntad ganaron 3.2 g/d más ($p < 0.05$) de peso corporal frente al grupo restringido, durante la fase de iniciación (Tabla 2-3). Sin embargo, la conversión alimenticia de los pollos de engorde restringidos fue menor ($p < 0.05$) en 4.2% frente al grupo control y tuvieron 1.3% más de supervivencia. Por otro lado, los pollos de engorde que recibieron 7.5% de glicerina tuvieron una mayor ($p < 0.05$) conversión alimenticia comparada con el grupo control, pero registraron ($p < 0.05$) 2.9% menos de mortalidad que los pollos del grupo control o alimentados con 5% de glicerina USP.

Tabla 2-3: Desempeño durante la fase de iniciación de pollos de engorde restringidos en energía y alimentados con diferentes niveles de glicerina USP

Consumo de energía	Glicerina (%)	Ganancia de peso (g/d)	Conversión alimenticia	Homogeneidad (%)	Supervivencia (%)
A voluntad	0.0	30.1	1.63	10.3	94.8
	2.5	29.7	1.66	12.2	95.5
	5.0	29.4	1.67	12.8	97.4
	7.5	29.5	1.67	9.6	98.1
Restringidos	0.0	26.7	1.55	10.7	95.7
	2.5	26.4	1.57	11.6	98.3
	5.0	26.6	1.56	10.3	97.5
	7.5	25.4	1.63	10.7	99.4
EEM		0.377	0.011	0.368	0.84
Efecto ¹					
Consumo de energía		**	**	NS	*
Glicerina		NS	*	NS	*
Tipo de efecto		Lineal	Lineal	Cuadrático	Lineal
Consumo*Glicerina		NS	NS	NS	NS

1. *: < 0.05 ; **: < 0.001 ; NS: No significativo

El efecto negativo de la inclusión de glicerina USP sobre la conversión alimenticia en la fase de iniciación contrasta con trabajos como el de Silva et al., (2019) quienes usando glicerina purificada hasta el 6% reportan una disminución lineal en esta variable, o el Mandalawi et al. (2014) quienes reportan un efecto positivo sobre la eficiencia alimenticia usando dietas con glicerina cruda hasta el 10%, o el de McLea et al. (2011) quienes observaron mejora de un 11% al consumir dietas con 6.7% de glicerina en pollos de engorde jóvenes.

2.3.3 Desempeño productivo durante la fase de finalización

El nivel de restricción energética afectó ($p < 0.05$) el consumo de alimento de la fase de finalización (tabla 2-4), ya que las aves que fueron restringidas durante el periodo de iniciación consumieron 2 g menos por día. Sin embargo, cuando se expresa el consumo de alimento en función del peso corporal (g de alimento/g de peso corporal), se observa que los pollos de engorde restringidos consumieron 4% más alimento ($p < 0.05$) y ganaron 6% más de peso corporal (g de ganancia/g de peso vivo) ($p < 0.05$). La conversión alimenticia de la fase de finalización, asociada al nivel de inclusión de glicerina USP en la dieta durante la fase de iniciación, exhibió un efecto cuadrático (con un mínimo de conversión alimenticia estimada cuando se incluye 4% de glicerina USP en la dieta).

Tabla 2-4: Ganancia de peso y consumo de alimento durante la fase de engorde de pollos restringidos durante el periodo inicial de crecimiento y alimentados con glicerina USP

Consumo de energía	Glicerina (%)	Ganancia de peso (g/d)	Ganancia (g/d/g PV)	Consumo de alimento (g/d)	Consumo de alimento (g/d/g PV)	Conversión alimenticia (g/g)
A voluntad	0.0	74.4	0.052	144.5	0.101	1.94
	2.5	74.8	0.052	141.6	0.099	1.90
	5.0	75.3	0.053	140.5	0.099	1.87
	7.5	71.9	0.051	143.2	0.102	2.00
Restringidos	0.0	74.3	0.054	143.7	0.105	1.93
	2.5	75.6	0.055	140.3	0.103	1.86
	5.0	73.1	0.054	139.3	0.104	1.91
	7.5	72.8	0.052	138.3	0.105	1.90
SEM		0.477	0.00054	0.736	0.00136	0.011
Efecto ¹						
Consumo de energía		NS	**	*	**	NS
Glicerina		NS	NS	NS	NS	*
Tipo de efecto		NS	NS	NS	Cuadrático	Cuadrático
Consumo*Glicerina		NS	+	NS	NS	NS

¹: +: <0.1; *: <0.05; **: <0.001; NS: No significativo

La respuesta cuadrática de algunas variables de producción frente a la inclusión de glicerina coincide con varios reportes de literatura, como el de McLea et al. (2011), con un óptimo cercano a 6.7% de inclusión, el de Avellaneda et al. (2009a), en condiciones de altitud similares, de 3.9% para minimizar conversión alimenticia, el de Sehu et al. (2012), con un óptimo alrededor de 5% de inclusión y al reporte de Jung y Batal (2011b), donde

una inclusión de 2.5% de glicerina maximiza la eficiencia alimenticia en el periodo de 0 a 14 días de edad. De esta manera, como lo demuestra Romano et al. (2014), existe un nivel de saturación de toma de glicerol que podría corresponder a un nivel de inclusión de 7.5%, ya que cuando se usan dietas de 10%, el nivel de glicerol en sangre se incrementa como un indicativo de la incapacidad para qué se ha retenido a nivel celular.

2.3.4 Respuesta acumulada y evaluación económica al final del ciclo de producción comercial

Los pollos de engorde restringidos energéticamente pesaron 76 g menos ($p<0.05$), registraron 0.05 g/g menos ($p<0.05$) de conversión alimenticia y presentaron un menor IC al terminar el ciclo de producción comparado con aquellos alimentados a voluntad (tabla 2-5). De otra parte, dentro del grupo de pollos de engorde alimentados a voluntad se observó que el IC de los pollos que no consumieron glicerina USP fue mayor ($p<0.05$) comparado con los que recibieron 5.0 o 7.5% de este coproducto y se registró un efecto lineal positivo ($p<0.05$) del consumo de glicerina sobre la supervivencia de los pollos de engorde.

Tabla 2-5: Desempeño acumulado de pollos de engorde al final del ciclo de producción comercial cuando fueron sometidos a restricción alimenticia y alimentados con glicerina USP durante la fase de iniciación

Consumo	Glicerina (%)	Peso final (g)	Conversión (g/g)	Supervivencia (%)	IC	Costo Parcial (\$/ave)	² INP (\$/ave)
A Voluntad	0.0	2211	1.79	91.6	0.30	1.630	0.608
	2.5	2209	1.77	91.6	0.28	1.641	0.633
	5.0	2210	1.77	96.2	0.26	1.709	0.804
	7.5	2153	1.83	96.7	0.26	1.727	0.720
Restringido	0.0	2146	1.74	93.7	0.25	1.587	0.675
	2.5	2153	1.71	95.8	0.24	1.626	0.758
	5.0	2107	1.73	95.5	0.26	1.667	0.665
	7.5	2072	1.76	95.9	0.27	1.652	0.675
EEM		29.3	0.015	1.53	0.005	0.029	0.055
Efecto ¹							
Consumo		**	**	NS	*	**	NS
Glicerina		NS	*	+	NS	*	NS
Tipo de efecto		NS	Cuadrático	Lineal	NS	Lineal	NS
Consumo*Glicerina		NS	NS	NS	*	NS	+

¹ +: 0.05-0.1; *: <0.05; **: <0.001; NS: No significativo. ² Ingreso Neto Parcial por venta en canal

En este estudio, los pollos de engorde no lograron exhibir el proceso de crecimiento compensatorio después del periodo de restricción energética, lo cual afectó significativamente el peso corporal final durante el ciclo de producción. Reportes experimentales de restricción energética temprana son limitados en la literatura, pero Yang et al. (2015), restringiendo al 85% el consumo de energía y Gratta et al. (2017), ofreciendo el 80% del consumo observado en aves alimentadas a voluntad, encontraron que los pollos restringidos fueron más pequeños al final del ciclo productivo. Otros autores también reportan un menor peso corporal final en aves restringidas (Jahanpour et al., 2014; Jalal y Zacaria, 2012; Omozebi et al., 2014; Zhan et al., 2007). La incapacidad de los pollos de engorde para compensar se puede atribuir a la duración del periodo de restricción, que fue de 17 días, ya que autores de trabajos iniciales sobre restricción alimenticia en aves, mencionan que periodos de restricción mayores a 12 días impiden que los pollos de engorde alcancen el peso corporal de sus contrapartes alimentadas a voluntad (Zubair y Leeson, 1996).

La conversión alimenticia de los pollos, al final del ciclo de producción, se vio beneficiada por el efecto de la restricción energética del día 4 al 21 de edad, respuesta que ha sido reportada por otros autores (Jahanpour et al., 2014; Trocino et al., 2015) y justificada a través de un ahorro en los requerimientos energéticos para mantenimiento que están asociados al tamaño corporal (Talpez et al., 1988). Sin embargo, en otros estudios, la reducción del crecimiento luego de un periodo de restricción viene acompañada de una ineficiencia alimenticia (Jalal y Zacaria, 2012; Jang et al., 2009; Varol y Ombisilar., 2016).

En términos generales, se considera que pollos de engorde con un IC por arriba de 0.28 presentan ascitis (Wideman, 2000). En ese sentido, las aves alimentadas con dietas cuya inclusión de glicerina USP fue superior a 5.0% no presentaron alteración en su condición fisiológica, mientras que sus contrapartes presentaron ascitis. Lo anterior podría estar relacionado con los beneficios cardiovasculares que se han observado en humanos tras el consumo de glicerol en situaciones de alto gasto cardiaco (Montner et al., 1996), como es el caso de atletas de alto rendimiento, asociado a una reducción en la tasa cardiaca, incremento del llenado cardiaco y mantenimiento del volumen plasmático (Easton et al.,

2007; Goulet et al., 2008). Por otro lado, similar a lo encontrado en este estudio, Boostani et al. (2010), encontraron que los pollos de engorde restringidos presentaron una menor hipertrofia ventricular, sin embargo, otros trabajos reportan que esta estrategia alimenticia no evitó que se alterara el valor de IC (Ozcan et al., 2010; Saber, 2016).

El análisis del rendimiento de las fracciones de la canal mostro que los pollos de engorde restringidos presentaron un mayor ($p < 0.05$) valor de grasa abdominal (1.51%) frente a los alimentados a voluntad (1.22%), mientras que no se observaron diferencias significativas para el rendimiento de las fracciones (en promedio: 68.4% de canal, 31.6% de pierna-pernil, 11.7% de ala-costilla y 19.5% de rabadilla). Un efecto cuadrático de la inclusión de glicerina USP en la dieta fue observado sobre el porcentaje de pechuga, correspondiendo a un máximo de rendimiento, un nivel de inclusión de 3.4% de glicerina USP. La implementación de la restricción alimenticia se ha propuesto como una metodología para reducir el contenido de grasa de la canal (Yang et al., 2009; Omosebi et al., 2014), sin embargo, en este estudio los pollos que fueron restringidos energéticamente exhibieron un mayor porcentaje de grasa abdominal comparado con el grupo control, coincidiendo con resultados de otros trabajos (Lippens et al., 2000; Poltowicz et al., 2015). Paralelamente, el porcentaje de grasa abdominal en este estudio no se vio afectado por el uso de la glicerina USP, similar al reporte que hace Sehu et al. (2012), sin embargo, Lessard et al. (1993), encontraron un incremento en la grasa abdominal cuando se incluyó glicerina al 5%. Las discrepancias en los resultados de la grasa abdominal generalmente están asociadas a la sobreestimación del valor energético de la glicerina USP, pero en este trabajo el valor de EM se basó de un bioensayo de balance previo con el mismo lote de glicerina. A nivel general se ha encontrado que la inclusión de glicerina en las dietas no altera el rendimiento en canal (Sehu et al., 2012; Silva et al., 2019), sin embargo, Cerrate et al. (2006), encontraron que al 2.5% de inclusión se incrementa el porcentaje de pechuga, valor similar al 3.4% registrado en este estudio.

El análisis económico mostró que el costo de producción de los pollos restringidos fue 2.6% menor, comparado con el de los pollos alimentados a voluntad, este resultado es superior al reportado por Simeon (2015) de 1.22, al restringir pollos de engorde al 85% del consumo observado a voluntad. Por otro lado, la inclusión de glicerina USP generó una respuesta

lineal en el costo por ave encasetada, debido al precio de la glicerina USP (0.87 USD/Kg). Sin embargo, el uso de 5% de este recurso en un esquema de alimentación a voluntad presentó un mejor beneficio económico (0.2 USD más por pollo encasetado), en virtud de que la supervivencia de este grupo fue 4.6% mayor y el rendimiento en canal se incrementó en 0.8%, comparado con el grupo control alimentado a voluntad.

Conclusiones

El uso de glicerina USP parece regular los mecanismos de control de la temperatura corporal, lo que sugiere su evaluación en sistemas de producción de pollo de engorde en condiciones por fuera de la zona de tomo neutralidad, como es el caso del estrés por frío o calor.

El consumo de dietas con 5 o 7.5% de glicerina USP durante la fase de iniciación en pollos de engorde alimentados a voluntad disminuyó la hipertrofia ventricular, lo que mejora la respuesta en producción para las condiciones de altitud.

La conversión alimenticia y el rendimiento en pechuga de pollos alimentados con o sin restricción alimenticia se mejoran con inclusiones de glicerina USP cercanas al 4%, lo cual redundará en unos menores costos de producción.

3. Capítulo 3. Glicerina cruda, restricción alimenticia y suplementación con aminogut® en pollos de engorde

Resumen

El efecto de la suplementación con glutamina y glutamato (aminogut®) durante un periodo de restricción energética en la fase de iniciación y el uso de dietas formuladas con glicerina cruda durante la fase de engorde fue evaluado en pollos de engorde. Se utilizaron 880 pollos de engorde de la estirpe Ross, que fueron sorteados a uno de los siguientes tratamientos: alimentación a voluntad o restricción energética del 15%, del día 4 al 21 de edad, usando dietas con o sin inclusión de aminogut®. Al día 21 de edad se evaluó el desarrollo de la microestructura intestinal. Al día 22 de edad, los pollos fueron nuevamente aleatorizados a uno de los siguientes tratamientos 0, 2.5, 5.0 o 7.5% de glicerina cruda. Semanalmente se midió el peso corporal y los residuales de alimento para calcular el consumo y la conversión alimenticia. La información hasta el día 21 de edad se analizó como un diseño factorial 2x2 y la información de la fase de engorde como un diseño de parcelas divididas. La utilización de aminogut® incremento ($P < 0.05$) la longitud de las vellosidades del duodeno en 114 μm y mejoró la respuesta productiva en esta fase (+1.2 g/d en ganancia de peso y -0.04 g/g en conversión alimenticia). Los pollos de engorde restringidos pesaron al día 42 de edad 58 g menos ($p < 0.05$) que aquellos alimentados a voluntad, pero registraron una menor ($P < 0.05$) conversión alimenticia (-0.05 g/g) y un menor ($p < 0.05$) valor de relación ventrículo derecho a peso ventricular total (VD/PTV: -0.05). La inclusión de glicerina cruda durante la fase de engorde disminuyó ($P < 0.05$) la relación VD/PTV en 0.05, mientras que la ganancia de peso del grupo que recibió 5.0% de glicerina cruda comparada con el control fue mayor ($P < 0.05$) y se tradujo en un mayor peso final (+52 g). la utilización de un aditivo con glutamina y glutamato durante una restricción alimenticia y el uso de glicerina cruda al 5% mejora el desempeño de pollos de engorde.

Palabras clave: crecimiento compensatorio, desempeño productivo, vellosidades intestinales

Summary

The effect of supplementation with glutamine and glutamate (aminogut®) during a period of energy restriction in the starting phase and the use of diets formulated with crude glycerin during the finishing phase were evaluated in broiler chickens. Eight hundred broilers from Ross strain were random distributed to one of the following treatments: ad libitum feeding or 15% energy restriction, from day 5 to 21 of age, using diets with or without aminogut® inclusion. At day 21 of age, the development of the intestinal microstructure was evaluated. At day 22 of age, the chickens were again randomized to one of the following 0, 2.5, 5.0 or 7.5% crude glycerin treatments. Weekly body weight and feed waste were measured to calculate feed intake and feed conversion. The data up to day 21 of age was analyzed as a 2x2 factorial design and the data of the finishing phase as a design of divided plots. The use of aminogut® increased ($P < 0.05$) duodenum villi length by 114 μm and improved the performance response in this phase (+1.2 g / d in weight gain and -0.04 g / g in feed conversion). The restricted broilers weighed at day 42 of age 58 g less ($p < 0.05$) than those fed ad libitum, but they recorded a lower ($P < 0.05$) feed conversion (-0.05 g / g) and a lower ($p < 0.05$) right ventricular to total ventricular weight ratio value (VD / PTV: -0.05). The inclusion of crude glycerin during the finishing phase decreased ($P < 0.05$) the VD / PTV ratio by 0.05, while the weight gain of the group of 5.0% crude glycerin compared to the control was higher ($P < 0.05$). and resulted in a higher final body weight (+52 g). The use of a feed additive with glutamine and glutamate during a feed restriction and the use of 5% crude glycerin improves the performance of broilers at 42 days of age.

Keywords: compensatory growth, performance, intestinal villi

3.1 Introducción

El consumo de carne de pollo en Colombia se ha incrementado en los últimos años, registrando un crecimiento del 66% entre los años 2005 y 2015 (FENAVI, 2016). La Industria Avícola Nacional demanda más del 60% de la producción de alimentos balanceados del país, en cuya formulación el maíz es el ingrediente principal. La anterior situación resulta en un incremento de las importaciones del cereal, alcanzando cerca de 3.9 millones de toneladas en el 2014 (FENALCE, 2016). Por otra parte, los sistemas de producción de pollo de engorde ubicados en condiciones de altitud manejan esquemas de restricción alimenticia para disminuir la incidencia de ascitis y mejorar la eficiencia de producción de las estirpes modernas de pollos de engorde, caracterizados por su alto potencial de crecimiento (Uribe, 2011).

La restricción alimenticia es considerada de acuerdo algunos estudios como una estrategia de alimentación que incrementa la productividad de la industria avícola (Sahraei, 2013), al mejorar las tasas de crecimiento (Govaerts et al., 2000; Santoso, 2002), hacer más eficiente el uso del alimento (Plavnik y Hurwitz, 1991; Tůmová et al., 2002), promover la actividad física para evitar problemas de piernas (Nielsen et al., 2003) y mejorar la calidad de la canal (Yang et al., 2009; Omosebi et al., 2014). En contraste, otras investigaciones o no permiten ratificar estos beneficios, ya que el peso corporal final de los pollos de engorde restringidos fue menor al de las aves del grupo control, independiente si se realiza una restricción cuantitativa de alimento (Larivière et al., 2009), o el nivel de alimentación cubre exclusivamente el mantenimiento (Mohebodini et al., 2009), o la alimentación sostiene un 50% de la ganancia de peso corporal en machos (Ozkan et al., 2010), o se utilizan diferentes comidas en el día (Azis et al., 2011) o también se utilizan dieta diluidas (Fanooci y Torky, 2010). Este volumen importante de investigaciones sugeriría que las estirpes modernas de pollos de engorde altamente mejoradas por su capacidad para retener proteína son incapaces de realizar crecimiento compensatorio o requieren en particular de una estrategia específica de alimentación para lograr esta respuesta compensatoria en crecimiento durante un ciclo comercial de producción.

El incremento en la producción de glicerina proveniente de la industria del biodiesel (Thompson y He, 2006) ha influido para que disminuya su precio en el mercado (Yang et al., 2012) y ha abierto la posibilidad de utilización como recurso energético alternativo en los sistemas de alimentación animal (Beserra et al., 2016; Madrid et al., 2013; Silva et al., 2014). El glicerol en monogástricos es absorbido a nivel intestinal casi en su totalidad, a través de absorción pasiva, debido a su bajo peso molecular (Kato et al., 2004; Emmanuel et al., 1983) y adicionalmente la eficiencia de producción por la dinámica nutricional del glicerol genera un alto valor de energía efectiva (Emmans, 1994), dado el bajo incremento calórico que genera durante su utilización.

La suplementación de dietas para pollos de engorde con aminoácidos funcionales específicos ha sido ampliamente investigada, pero el mayor interés se ha dado sobre la glutamina, un aminoácido considerado tradicionalmente en los libros de texto como un aminoácido no -esencial, pero que en la actualidad se categoriza como un nutriente condicionalmente esencial en animales bajo condiciones de estrés (Dai et al 2011). En este sentido, se ha demostrado que la suplementación con glutamina mejora el desarrollo la mucosa intestinal (Jazideh et al., 2014; Olubodun et al., 2015) y propicia el aumento en el tamaño del timo y los niveles plasmáticos de IgA (Bartell y Batal, 2007), lo que cual plantea una inclusión estratégica de este aminoácido para mejorar la respuesta en producción de pollos de engorde bajo diferentes sistemas de alimentación.

En este estudio se evaluó la inclusión de una mezcla de aminoácidos funcionales (Aminogut®, aditivo con altas concentraciones de L-glutamina y L-glutamato) en dietas de iniciación de pollos de engorde restringidos energéticamente y la posterior inclusión de glicerina cruda de aceite de palma durante el engorde en las dietas de crecimiento y finalización sobre la respuesta productiva de los pollos de engorde en condiciones de altitud.

3.2 Materiales y Métodos

3.2.1 Unidades experimentales

Para este estudio se utilizaron 880 pollos de engorde de la estirpe ROSS, de un día de edad. El número inicial de repeticiones por tratamiento fue de 20, constituida por corrales con 11 aves (24 pollos/m²). Posteriormente, al día 21, se disminuyó a cinco (5), el número de repeticiones para cada combinación experimental, ajustando la densidad de los pollos a 13.3 pollos/m².

3.2.2 Aval de Comité de Bioética

Los protocolos de manejo animal fueron avalados por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (acta 05).

3.2.3 Ubicación

Este estudio se realizó en la Unidad de Avicultura del CI Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia, ubicada a 2516 msnm (4.685222 - 74.204722).

3.2.4 Glicerina utilizada

En este estudio se utilizó en la dieta de finalización ofrecida durante el periodo de engorde, glicerina cruda de aceite de palma (3547 kcal/kg de EB, 8.2% de humedad, 84.2% de glicerol, 4.5% de cenizas y 19.7 ppm de metanol). Se usó un valor de 3340 kcal de EMAn/kg, obtenido en un estudio previo realizado en la misma unidad y con el mismo lote de glicerina cruda.

3.2.5 Dietas experimentales

Durante los primeros 21 días de edad para la restricción alimenticia se diseñaron dos tipos de dietas, una con concentraciones normales de nutrientes no-calóricos para suministrar a los pollos no restringidos y una concentrada en nutrientes no-calóricos, para los pollos que se restringieron. El objetivo de esta formulación fue restringir el consumo de alimento

en el segundo grupo desde el punto de vista de afectación de la ingesta de energía. Adicionalmente, dentro de cada grupo de dietas se incluyó o no el aditivo alimenticio Aminogut® al 1% (Tabla 3-1). Después del periodo de restricción alimenticia, los pollos de engorde de cada combinación experimental fueron asignados a uno de los siguientes tratamientos que contenían glicerina cruda a niveles de inclusión de: 0.0, 2.5, 5.0 o 7.5% en la dieta de finalización (tabla 3-2). Las dietas fueron constituidas básicamente por torta de soya y maíz y se suministraron en harina.

Tabla 3-1: Dietas experimentales de iniciación con Aminogut® utilizadas durante un periodo de restricción energética de pollos de engorde (%) (5-21 días de edad)

Ingredientes	Dietas a voluntad		Dietas restricción	
	Control	Aminogut®	Control	Aminogut®
Maíz	58.20	58.14	48.40	48.13
Harina de arroz	3.00	3.00	2.93	3.00
Soya cocida	0.00	0.00	10.00	10.00
Torta de soya 45	33.00	31.6	32.04	31.11
Harina de pescado	1.50	1.50	1.50	1.50
Sal (NaCl)	0.30	0.30	0.35	0.35
Bicarbonato de sodio	0.30	0.33	0.25	0.31
Carbonato de Ca	1.00	1.13	1.14	1.14
Fosfato monobásico	1.40	1.73	1.86	1.87
DL-Metionina	0.20	0.31	0.41	0.42
HCL Lisina	0.16	0.21	0.23	0.26
L-Treonina	0.06	0.08	0.11	0.13
Aminogut®	0.00	1.00	0.00	1.00
Cloruro de colina 60%	0.07	0.07	0.08	0.08
Premezcla vit-min ¹	0.60	0.60	0.70	0.70
Composición calculada				
EM (Mcal/Kg)	2.950	2.950	2.950	2.950
PC (%)	21.3	22.0	24.68	24.88
Ca (%)	1.00	1.10	1.17	1.17
P disponible (%)	0.50	0.55	0.59	0.59
Lisina digestible (%)	1.21	1.21	1.41	1.41
Met+cis digestible (%)	0.86	0.86	1.00	1.00
Costo (USD/Kg)	0.402	0.422	0.430	0.451

¹ Premezcla de vitaminas y minerales que aporta lo siguiente por kilogramo de dieta: vitamina A, 8500 IU; vitamina D3, 3200 IU; vitamina E, 32 IU; vitamina K3, 2.0 mg; tiamina, 4.0 mg; riboflavina, 5.5 mg; niacina, 42 mg; ácido pantoténico, 15 mg; piridoxina, 4.2 mg; biotina, 0.1 mg; ácido fólico, 1.1 mg; vitamina B12, 0.02 mg; colina, 11 mg; Zn, 80 mg; Mn, 70 mg; Fe, 55 mg; Cu, 12mg;l, 1.1 mg; Se, 0.4 mg

Tabla 3-2: Dietas experimentales con glicerina cruda usadas durante el periodo de realimentación (22-42 días de edad) en pollos de engorde restringidos (5-21 días de edad)

Ingredientes	Control	Glicerina 2.5	Glicerina 5.0	Glicerina 7.5
Maíz	64.85	61.68	58.53	55.35
Glicerina cruda	0.00	2.50	5.00	7.50
Soya cocida	12.00	12.00	12.00	12.00
Torta de soya 45	17.17	17.71	18.24	18.78
Harina de pescado	1.50	1.50	1.50	1.50
Aceite de soya	0.52	0.66	0.80	0.94
Sal (NaCl)	0.30	0.30	0.30	0.30
Bicarbonato de sodio	0.52	0.51	0.49	0.48
Carbonato de Ca	0.97	0.95	0.94	0.92
Fosfato monobicálcico	1.15	1.18	1.20	1.23
DL-Metionina	0.18	0.18	0.18	0.19
HCl Lisina	0.14	0.13	0.12	0.11
L-Treonina	0.03	0.03	0.03	0.03
Cloruro de colina 60%	0.07	0.07	0.07	0.07
Premezcla vit-min ¹	0.60	0.60	0.60	0.60
Composición calculada				
EM (Mcal/Kg)	3.100	3.100	3.100	3.100
PC (%)	19.5	19.5	19.5	19.5
Ca (%)	0.91	0.91	0.91	0.91
P disponible (%)	0.46	0.46	0.46	0.46
Lisina digestible (%)	1.00	1.00	1.00	1.00
Mat+cis digestible (%)	0.72	0.72	0.72	0.72
Costo (USD/Kg)	0.399	0.398	0.397	0.396

¹ Premezcla de vitaminas y minerales que aporta lo siguiente por kilogramo de dieta: vitamina A, 8000 IU; vitamina D3, 2500 IU; vitamina E, 30 IU; vitamina K3, 2.0 mg; tiamina, 1.5 mg; riboflavina, 5.0 mg; niacina, 24 mg; ácido pantoténico, 8 mg; piridoxina, 2.0 mg; biotina, 0.1 mg; ácido fólico, 0.8 mg; vitamina B12, 0.01 mg; colina, 10 mg; Zn, 60 mg; Mn, 64 mg; Fe, 44 mg; Cu, 9 mg; I, 0.9 mg; Se, 0.3 mg

3.2.6 Instalaciones y manejo animal

Este estudio se llevó a cabo en corrales de baterías verticales, cada uno dotado con criadora eléctrica, comedero lateral y bebedero automático. La temperatura ambiente inicial fue de 34°C y se manejó una reducción semanal de 3°C, terminando con una temperatura de 18°C. La iluminación para la primera semana fue continua y a partir de la segunda semana se contó con 16 horas de luz (4 de iluminación artificial) y 8 horas de oscuridad.

3.2.7 Protocolo experimental

Los pollos de engorde durante los cuatro primeros días del ciclo de producción tuvieron acceso sin restricción al alimento. Posteriormente, a los grupos de aves restringidos se les ofreció el 85% del consumo que reportó una simulación con datos e información histórica de la unidad de investigación, la cual se ajustó diariamente, según el nivel promedio de alimento residual que se midió en los comederos. Para analizar el efecto de la restricción alimenticia y la suplementación con aminoácidos funcionales sobre el desarrollo de la mucosa intestinal, se tomó, al día 21 de edad, un pollo de engorde con un peso corporal representativo del peso promedio de cada corral, de cinco (5) de las 20 repeticiones por tratamiento, seleccionadas al azar. Las aves se sacrificaron por dislocación cervical, se removió el tracto gastrointestinal completo y se colectaron muestras de 2 cm de los segmentos del intestino delgado (ápice del duodeno, mitad del yeyuno y mitad del íleon), los cuales se fijaron en una solución de formalina buffer neutral. Posteriormente, las muestras fueron remitidas a un laboratorio especializado en donde se prepararon laminas teñidas con hematoxilina eosina y se leyeron en un microscopio óptico (Nico) acoplado a un analizador de imágenes, tomando las siguientes dimensiones: altura de la vellosidad, profundidad de la cripta y amplitud de la vellosidad.

Después del día 21 de edad, los pollos de engorde se asignaron a los tratamientos con glicerina. Durante el estudio se realizaron pesajes semanales del grupo de pollos de cada repetición y se midió el residual de alimento. Al día 42 de edad se tomaron dos pollos, con un peso corporal representativo del promedio de peso de cada repetición, los cuales fueron beneficiados en una línea de sacrificio comercial, para reportar el rendimiento en canal caliente y el peso de cada una de las fracciones comerciales de carne de pollo engorde.

3.2.8 Análisis estadístico

La información correspondiente a la fase de iniciación se analizó a través de un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2, dos niveles de oferta energética y con o sin suplementación de Aminogut®. Las variables evaluadas durante el período de engorde se analizaron como un efecto de arrastre de los tratamientos iniciales y un efecto directo del nivel de glicerina utilizada, correspondiendo así, a un diseño de parcelas divididas, con la interacción del nivel de la energía ofertada y la suplementación con Aminogut®, como

parcela principal, y la inclusión de glicerina como la subparcela. Se compararon las medias para los efectos principales con la prueba de TUKEY y las medias ajustadas para la interacción con la opción PDIFF de SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC). Adicionalmente, se realizaron contrastes para evaluar el tipo de efecto del nivel de inclusión de glicerina cruda en las dietas sobre el desempeño productivo. La información fue procesada a través del procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS, versión 9.2 (SAS Inst., Inc., Cary, NC).

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Desempeño durante la fase de iniciación

La suplementación con una mezcla de glutamina y glutamato (Aminogut®) permitió que los pollos de engorde restringidos mostraran una mayor ($p < 0.05$) ganancia de peso corporal y una menor ($p < 0.05$) conversión alimenticia durante el periodo de restricción (5-21 días de edad (Tabla 3-3). Cuando se evaluaron los efectos principales, se encontró que los pollos restringidos ganaron 3.2 g/d menos ($p < 0.05$) de peso corporal y registraron una diferencia ($p < 0.05$) positiva en conversión alimenticia (0.07 g/g) frente a pollos alimentados a voluntad. Además, los pollos que recibieron Aminogut®, ganaron 2.6% más de peso corporal y consumieron 0.03 g menos, por cada gramo de peso ganado, frente a aquellos que no fueron suplementados con el aditivo alimenticio.

La inclusión de aminoácidos funcionales (Aminogut®) fue evaluada previamente durante el crecimiento temprano en pollos de engorde en condiciones de altitud obteniendo como resultado un incremento en el desempeño en producción de las aves (Avellaneda et al., 2008). Otros estudios han reportado una respuesta favorable cuando se incluyó glutamina al 1% en pollos de engorde durante la fase de iniciación (Bartell y Batal, 2007; Jazideh et al., 2014; Soltan, 2009). La respuesta positiva al uso de glutamina y/o glutamato está relacionada con el incremento de sustratos energéticos, que promueven la proliferación de los enterocitos (Wu, 1998), como fuente de nitrógeno, para la síntesis de nucleótidos (Newsholme et al., 2003) o como regulador metabólico, incrementando la síntesis de proteína (Lobley et al., 2001). Igualmente, la actividad enzimática digestiva particularmente de la amilasa se incrementa con la suplementación de glutamina (Devi-Priya et al 2010).

Estudios que relacionen el desempeño de pollos de engorde con el uso de glutamina o glutamato, durante un periodo de restricción alimenticia, no han sido documentados. Sin embargo, en la literatura se encuentran hallazgos que evalúan el retraso al acceso de alimento (ayunos de 24 horas) en pollos de un día, encontrando respuestas favorables a la suplementación con glutamina (Gilani et al., 2018; Shakeri et al., 2016) o con Aminogut® (Zulkifli et al., 2016). Por otro lado, Pinheiro et al. (2004), reporta que al suplementar con una mezcla enzimática (proteasas y amilasas) en pollos de engorde restringidos del día 7 al 14 y Olukomaiya et al. (2015), al adicionar 150 ppm de ácido cítrico en el alimento de pollos de engorde restringidos durante tres días por semana del día 15 al 35 de edad, encontraron que la suplementación durante estas fases presentó un efecto positivo sobre la respuesta en producción de los pollos de engorde.

Tabla 3-3: Desempeño de pollos de engorde de engorde restringidos y suplementados con Aminogut® durante la fase de iniciación (5-21 días de edad)

Consumo	Aminogut® (%)	Ganancia de peso (g/d)	Conversión alimenticia (g/g)	Supervivencia (%)
A Voluntad	0.0	32.1	1.43	98.5
	1.0	32.3	1.42	96.0
Restringido	0.0	28.4	1.38	96.0
	1.0	29.6	1.32	97.0
EEM		0.24	0.011	1.8
Efecto ¹				
Consumo		***	***	NS
Aminogut®		*	*	NS
Interacción		*	*	NS

1. *: <0.05; **: <0.001; NS: No significativo

3.3.2 Microestructura intestinal al día 21 de edad

El consumo de energía y la suplementación con Aminogut® durante el periodo de restricción, modificó ($P < 0.05$) la longitud y el área superficial de las vellosidades del duodeno (tabla 3-4). Las vellosidades de los pollos alimentados a voluntad midieron 126 μm más ($p < 0.05$) y tuvieron 0.04 mm^2 más área superficial, comparado con pollos restringidos. Además, las vellosidades de los pollos que consumieron Aminogut® fueron 114 μm más largas ($p < 0.05$) y tuvieron 0.12 mm^2 más superficie que las de aquellos que no fueron suplementados con este aditivo alimenticio.

La salud y el desarrollo del tracto gastrointestinal es crucial para una óptima productividad en el proceso de producción de carne de pollo. En consecuencia, un incremento en la longitud de la microvellosidad y el área superficial de las vellosidades por la suplementación de glutamina permite asegurar un tracto gastrointestinal menos sensible a los efectos ambientales que inducen un descenso en la integralidad del epitelio intestinal (Meddilings y Swain 2000)

Tabla 3-4: Desarrollo de la microestructura intestinal de pollos de engorde restringidos en energía y suplementados con Aminogut® durante la fase de iniciación (5-21 días de edad)

Segmento/parámetro		Restricción		A voluntad		EEM	Efecto (p<0.05)		
		0% Aminogut	1% Aminogut	0% Aminogut	1% Aminogut		Consumo	Aminogut	Interacción
Duodeno	LV (µm)	1018	1184	1196	1259	31.2	*	*	NS
	PC (µm)	254	267	243	235	11.2	NS	NS	NS
	AS (mm ²)	0.36	0.43	0.41	0.46	0.023	*	*	NS
Yeyuno	LV (µm)	1002	1060	963	947	26.1	NS	NS	NS
	PC (µm)	204	199	201	200	9.6	NS	NS	NS
	AS (mm ²)	0.27	0.30	0.26	0.25	0.015	NS	NS	NS
Íleon	LV (µm)	601	623	624	660	30.1	NS	NS	NS
	PC (µm)	120	126	120	114	4.2	NS	NS	NS
	AS (mm ²)	0.13	0.12	0.13	0.13	0.010	NS	NS	NS

LV: Longitud de las vellosidades; PC: Profundidad de las criptas; AS: Área superficial de las vellosidades. *: <0.05; NS: No significativo

La literatura reporta un incremento en la microestructura intestinal al incluir glutamina y/o glutamato en la dieta, lo que se refleja en la mayor longitud de las vellosidades (Luketi et al., 2016; Moghaddam y Alizadeh-Ghamsari, 2013; Olubodun et al., 2016) y puede estar relacionado con la mayor eficiencia en producción, hallazgos que coinciden con lo encontrado en el presente estudio. Por otro lado, algunas investigaciones han demostrado que la restricción alimenticia altera la funcionalidad del tracto gastrointestinal, al disminuir el peso relativo del yeyuno y del íleon (Wijten et al., 2010) o reducir el tamaño de las vellosidades del duodeno (Yamauchi et al., 1995). En este sentido, y en concordancia con lo encontrado en este estudio, se puede indicar que la utilización de aminoácidos con actividad funcional puede regular el desarrollo intestinal durante periodos de estrés, como ocurre con la restricción alimenticia temprana.

3.3.3 Desempeño durante la fase de finalización

El análisis de las variables evaluadas durante la fase de finalización no mostró ninguna interacción significativa y solo se presentan los efectos principales. El consumo de alimento del día 22 al 42 de edad de edad se vio afectado ($p < 0.05$) por el consumo de glicerina cruda, ya que los pollos de engorde del grupo control consumieron en promedio 5.0 g menos ($p < 0.05$) de alimento al día, comparado con los alimentados con glicerina al 2.5 o 7.5 (tabla 3-5). Además, los pollos de engorde alimentados con 5.0% de glicerina cruda ganaron más peso corporal (+2.9 g/d; $p < 0.05$) comparados con los pollos que no recibieron glicerina o la recibieron al 7.5%.

Tabla 3-5: Desempeño de pollos durante la fase de finalización alimentados con glicerina luego de una restricción alimenticia y suplementación con Aminogut® (22- 42 días de edad)

Factor	Nivel	Consumo (g/d)	Consumo (g/d/g de peso vivo)	Ganancia de peso (g/d)	Ganancia de peso (g/d/g de peso vivo)	Conversión alimenticia (g/g)
Consumo de energía	A voluntad	136 a	0.096	69.1	0.048 b	1.97 b
	Restricción	132 b	0.098	69.2	0.051 a	1.91 a
	EEM	0.79	0.0007	0.60	0.0002	0.018
	Efecto	*	NS	NS	*	*
Aminogut®	Si	134	0.096	69.2	0.050	1.93
	No	133	0.098	70.1	0.050	1.92
	EEM	0.79	0.0007	0.60	0.0002	0.018
	Efecto	NS	NS	NS	NS	NS
Glicerina	0.0	131 b	0.096 b	68.0 b	0.049 b	1.93 ab
	2.5	135 a	0.097 b	69.2 ab	0.050 b	1.95 ab
	5.0	133 ab	0.096 b	71.0 a	0.051 a	1.88 a
	7.5	137 a	0.100 a	68.1 b	0.049 b	2.01 b
	EEM	1.08	0.001	0.76	0.003	0.024
	Efecto	*	*	*, C	*, C	*, C

Valores con diferente letras dentro de columna para cada factor experimental indican diferencias significativas. *: $p < 0.05$; NS: No significativo; C: Efecto cuadrático

El incremento del consumo de alimento asociado al consumo de glicerina cruda también ha sido descrito por Romano et al. (2014), atribuyendo esta respuesta a un incremento en la palatabilidad de las dietas. En contraste, la respuesta reportada por Jung y Batal (2011b) mostro una supresión del consumo de alimento en niveles de 5 y 7.5% de glicerina cruda y con los resultados de Mandalawi et al. (2014), en donde la utilización de glicerina cruda

en niveles del 10% disminuyó el consumo de alimento. Por otro lado, los resultados encontrados en la ganancia de peso corporal para el grupo que recibió dietas con 7.5% de glicerina no concuerdan con los reportados en otros estudios, en donde hasta el 10% de inclusión no afectó el crecimiento de los pollos de engorde (Abd-Elsamee et al., 2010; McLea et al., 2011). Cerrate et al. (2006), encontraron una disminución en el desempeño de los pollos de engorde cuando se usó glicerina al 10%, atribuibles a problemas de flujo del alimento en el comedero, similar resultado fue reportado por Avellaneda et al. (2009a) bajo las condiciones experimentales del presente estudio. La respuesta cuadrática a la inclusión de glicerina cruda encontrada en este estudio coincide con los reportes de Bernardino et al. (2015), con un óptimo de inclusión cercano al 3.5%, el de Avellaneda et al. (2009a), de 3.9%, y es similar a la tendencia observada en los resultados mostrados por Sehu et al. (2012) y Silva et al. (2019b), con óptimos alrededor de 5% de inclusión. La respuesta positiva al consumo de glicerina se puede asociar al incremento en el aporte de energía neta respecto a los recursos que reemplaza, ya que la relación energía efectiva/energía metabolizable de la glicerina es 1, mientras que para el maíz es de 0.87 (AVINESP, 2014).

Los pollos de engorde restringidos durante la fase inicial consumieron menos alimento (-3.4 g; $p < 0.05$) y registraron una ganancia de peso corporal similar ($p > 0.05$) durante el periodo de finalización, comparado con aquellos que no fueron restringidos (Tabla 3-5), lo que originó un menor valor de conversión alimenticia para el grupo restringido, frente al grupo alimentado a voluntad (1.91 vs 1.97; $p < 0.05$). Cuando se ajustó el consumo de alimento y la ganancia de peso corporal en función del peso promedio de la fase, teniendo en cuenta que los pollos de engorde restringidos iniciaron con menor peso corporal la fase de finalización se observó que estos consumieron la misma cantidad de alimento comparados con aquellos alimentados a voluntad, pero ganaron 6.3% más peso corporal ($p < 0.05$). El efecto positivo de la restricción alimenticia sobre la eficiencia de uso del alimento en pollos de engorde ha sido reportado por otros autores (Jahanpour et al., 2014; Trocino et al., 2015) y puede ser justificado a través de una disminución en los gastos energéticos para mantenimiento debido a un menor tamaño corporal (Talpez et al., 1988). Sin embargo, otras investigaciones reportan que la eficiencia de uso del alimento no se ve afectada por la aplicación de una restricción alimenticia (Butzen et al., 2013; Ghanem,

2014), efecto que ha sido asociado con un incremento en el consumo de alimento que permitió sostener las tasas de crecimiento en un período comercial de producción.

Los efectos de la inclusión de Aminogut® observados hacia el final de la fase de iniciación (mejor ganancia de peso corporal y conversión alimenticia) desaparecieron en el periodo de finalización (Tabla 3-5), tal como lo han reportado otros estudios usando glutamina (Martinez et al., 2012; Souza et al., 2017; Zavarize et al., 2011). Sin embargo, Ribeiro et al. (2015) muestran que los efectos de incluir glutamina o Aminogut®, en las dietas de iniciación persisten hasta el final de ciclo de producción comercial.

3.3.4 Respuesta acumulada y evaluación económica al final del ciclo de producción

La restricción alimenticia o el uso de glicerina cruda disminuyeron ($p < 0.05$) el valor del índice cardiaco en los pollos de engorde (tabla 3-6), que, a su vez, se puede asociar con los valores de supervivencia observada. El valor registrado para los pollos de engorde alimentados a voluntad o sin inclusión de glicerina en las dietas es cercano a 0.3 y es señal de hipertrofia ventricular derecha o ascitis (Wideman 2000), esto indica que la restricción alimenticia logra disminuir la presión metabólica sobre el sistema cardio-respiratorio, como lo evidenció Boostani et al. (2010) o Bölükbasi et al. (2005), cuando compararon dietas suministradas en harina y el uso de dietas peletizadas. Por otra parte, Saber (2016) no observó diferencias significativas en el valor de IC entre los tratamientos con restricción alimenticia y el control; sin embargo, la mortalidad por ascitis fue mayor en este último grupo, cuyo IC al momento del sacrificio fue de 0.27. Reportes de beneficios sobre el sistema cardio-respiratorio en aves, por el uso de glicerina, no fueron identificados, pero en humanos, se ha observado una respuesta favorable en situaciones de alto gasto metabólico, en donde se registró una disminución de la tasa cardiaca, un incremento del llenado cardiaco y un mantenimiento del volumen plasmático (Easton et al., 2007; Goulet et al., 2008).

Cuando se evalúa el ciclo completo de producción (tabla 3-6), se encuentra que los pollos de engorde restringidos pesaron 58 gramos menos ($p < 0.05$) al día 42 de edad, comparado con el grupo alimentado a voluntad, sin embargo, estas aves consumieron menos ($p < 0.05$)

alimento, lo que se tradujo en una menor ($p < 0.05$) conversión alimenticia. Esta respuesta también ha sido reportada por diferentes investigadores (Benyi et al., 2011; Jahanpour et al., 2014; Trocino et al., 2015). El menor consumo de alimento observado en los pollos restringidos pudo obedecer a que las dietas se ofrecieron en harina y como lo menciona Lippens et al. (2009), la textura del alimento es un factor determinante sobre el comportamiento ingestivo de las aves y así sobre la respuesta compensatoria observada durante la fase de realimentación. Por otra parte, la duración del periodo de restricción aplicada en este estudio, que representa el 40% del tiempo del ciclo de producción, pudo incidir en los resultados de desempeño en producción observados, ya que algunos autores coinciden en que periodos de restricción mayores a 12 días, impiden que los pollos alcancen el peso corporal de sus contrapartes alimentadas a voluntad (McMurty et al., 1988; Zubair y Leeson, 1996). Adicionalmente, faltó tiempo del ciclo de producción para que pudieran compensar satisfactoriamente, como lo sugiere Benyi et al. (2011).

Tabla 3-6: Desempeño de pollos de engorde durante un ciclo de producción alimentados con glicerina luego de una restricción alimenticia (5- 21 días de edad) y suplementación con Aminogut® durante la restricción (0- 42 días de edad)

Factor	Nivel	Supervivencia (%)	VD/VT	Conversión (g/g)	Peso final (g)	Costo parcial (USD/ave)	Utilidad bruta (USD/ave)
Consumo de energía	A voluntad	96.2	0.29 b	1.70 b	2163 a	1.591	0.590
	Restricción	97.5	0.24 a	1.64 a	2104 b	1.552	0.605
	EEM	1.45	0.009	0.012	13.1	0.024	0.008
	Efecto	NS	*	*	*	NS	NS
Aminogut®	Si	97.0	0.27	1.65	2148	1.575	0.616
	No	96.7	0.26	1.69	2120	1.568	0.578
	EEM	1.45	0.009	0.012	13.1	0.024	0.08
	Efecto	NS	NS	NS	NS	NS	+
Glicerina (%)	0.0	94.5	0.30 b	1.66 ab	2114 b	1.532	0.554
	2.5	96.0	0.26 a	1.67 ab	2136 ab	1.566	0.605
	5.0	98.0	0.25 a	1.64 a	2169 a	1.578	0.654
	7.5	99.0	0.25 a	1.71 b	2116 b	1.610	0.576
	EEM	2.06	0.013	0.016	18.6	0.042	0.12
	Efecto	NS, L	*, L	*, C	*, C	*, C	NS, L

Valores con diferente letras dentro de columna para cada factor experimental indican diferencias significativas.

*: $p < 0.05$; NS: No significativo; L: Efecto lineal; C: Efecto cuadrático

El rendimiento en la canal y el porcentaje de peso de cada una de las fracciones no fue afectado por ninguno de los factores experimentales evaluados en este estudio. En promedio el rendimiento de la canal caliente fue de 64.8%, el de la pechuga 34.1%, el de la pierna-pernil de 32.1% y la grasa abdominal de 1.51%. Sin embargo, la implementación de la restricción alimenticia se ha propuesto como una metodología para reducir el contenido de grasa de la canal (Yang et al., 2009; Omosebi et al., 2014), aunque en el presente estudio no se observó diferencia en esta variable.

El costo parcial de producción (alimentación y pollito de un día) fue estadísticamente similar ($p > 0.05$) entre los niveles de los factores experimentales evaluados. Sin embargo, el costo por pollo de engorde producido fue 0.039 USD menor en el grupo restringido, comparado con aquellos alimentados a voluntad. Por otro lado, el costo de producción por pollo se incrementó linealmente con el consumo de glicerina cruda, pero la utilidad bruta tendió ($p < 0.1$) a ser mayor en los pollos alimentados con las dietas que contenían glicerina al 5%. Investigaciones donde se reporte el beneficio económico de la implementación de una restricción alimenticia son escasas; sin embargo, Shamma et al. (2014), encontraron que las estrategias de restricción implementadas (retiro de los comederos 4 o 6 horas al día) disminuyeron el consumo de alimento e incrementaron la ganancia de peso corporal, lo que afectó significativamente la eficiencia económica relativa, además, Simeon (2015), reportó una disminución en los costos del 1.22%, al restringir pollos de engorde al 85% del consumo observado a voluntad.

Conclusiones

La utilización de dietas con 5% de glicerina cruda durante la fase de finalización (22-42 días de edad) luego de una restricción energética (5 -21 días de edad) mejoró la respuesta en producción de pollos de engorde.

La inclusión de glicerina cruda disminuyó en 16% la hipertrofia ventricular derecha, lo que sugiere una mejor adaptación de los pollos de engorde a las condiciones de altitud.

Los pollos de engorde restringidos energéticamente no lograron compensar el peso corporal, pero registraron 3.5% menos de conversión alimenticia y 17.2% menos relación VD/VT.

La utilización de un aditivo alimenticio que contiene glutamina y glutamato incrementó en 5.3% la longitud de las vellosidades del duodeno y mejoró la respuesta en crecimiento durante un periodo de restricción alimenticia, por lo cual sugiere la importancia del enriquecimiento de dietas con aditivos funcionales para complementar el uso de estrategias de restricción alimenticia durante un ciclo comercial.

4. Capítulo 4. Utilización de glicerina USP durante la primera y última semana del ciclo de producción en pollos de engorde con retraso en el acceso al alimento

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la utilización de glicerina USP durante la primera semana de vida, luego de dos tiempos de retraso en el acceso al alimento, y durante la última semana de vida, previo al sacrificio, sobre la respuesta productiva, el nivel plasmático de electrolitos y las pérdidas de agua de la carne de pollos de engorde. Para esto se utilizaron 1344 pollos machos de la estirpe ROSS, que se ubicaron en corrales en piso a una densidad de 56 aves por corral hasta el día 35 de edad y de 20 aves por corral hasta el día 42, considerando 4 repeticiones por tratamiento. Las aves se sometieron al azar a dos tiempos de retraso en el acceso al alimento y agua de bebida (8 y 16 horas). Una vez finalizado este tiempo, los pollos de engorde se sortearon en los siguientes tratamientos: glicerina USP al 5% en la dieta de iniciación, glicerina USP en el agua de bebida (1.1mg/g peso vivo) y grupo control. Al día 35 de edad, los pollos de cada repetición fueron divididos en dos grupos homogéneos para aleatorizarse en dos tratamientos: dieta con 5% de glicerina o dieta control de finalización. El día 1 y 4 de edad se tomaron muestras de sangre para determinar los electrolitos en plasma. Durante la primera semana se midió el consumo de agua y semanalmente se recolectó información del consumo de alimento, la ganancia de peso y la conversión alimenticia. Al día 42 se sacrificaron dos pollos de cada repetición para determinar el rendimiento en canal, el peso de las fracciones, el pH de la pechuga, las pérdidas por cocción y las pérdidas por goteo. La información se analizó hasta el día 35 de edad como un diseño completamente al azar con estructura factorial 2x3, mientras que las respuestas posteriores se evaluaron como un diseño de parcelas divididas. Como no se presentó efecto significativo de las interacciones, se presentan los

resultados para los factores principales. Los pollos de engorde sometidos a 16 horas de retraso en el acceso al alimento presentaron una mayor ($p < 0.05$) concentración plasmática de sodio y cloro al finalizar el tiempo de retención. Además, los pollos de engorde con mayor tiempo de ayuno presentaron un mayor consumo de agua ($p < 0.05$), conversión alimenticia ($p < 0.05$), menor ganancia de peso ($p < 0.05$) y fueron más ($p < 0.05$) heterogéneos entre la primera y tercera semana. Los pollos que recibieron glicerina USP durante los primeros días registraron una menor ($p = 0.0797$) concentración de sodio en plasma sanguíneo, comparado con los pollos del grupo control. La ganancia de peso hasta el día 7 fue mayor (< 0.05) en los pollos que recibieron dieta con glicerina USP. Los pollos de engorde que consumieron dietas de finalización que contenían 5% de glicerina USP, consumieron más ($p < 0.05$) alimento, ganaron más ($p < 0.05$) peso corporal, pero registraron una mayor ($p < 0.05$) mortalidad que los pollos del grupo control. El rendimiento de las fracciones no fue afectado por ninguno de los tratamientos, pero las pérdidas por goteo fueron menores ($p < 0.05$) en la carne de los pollos retenidos por 16 horas. En conclusión, el tiempo de retraso en el acceso al alimento afecta el desempeño de los pollos hasta la fase de iniciación y la utilización de glicerina USP en la dieta, independiente del momento del ciclo, permite que los pollos mejoren el desempeño productivo.

Palabras claves: tiempo de retención, perdidas por goteo, electrolitos

4.1 Introducción

La demanda de carne de pollo en Colombia se ha incrementado en los últimos años, llegando en el 2017 a un consumo per cápita de 32.8 kg/año (FENAVI, 2018), en concordancia con una tendencia mundial, en donde el consumidor percibe que este producto es una fuente de proteína animal de alta calidad y bajo costo (Zaheer, 2015). Para soportar el incremento en el consumo de carne de pollo, el sector avícola colombiano reporta un crecimiento del 5.7% en el encasetamiento de aves en el 2017 (FENAVI, 2018). Por otro lado, la rentabilidad del sector avícola esta correlacionada con el precio del alimento (Altahat et al., 2012) y la expresión del potencial genético de las estirpes modernas (Classen, 2017), lo que obliga al diseño y desarrollo de sistemas de alimentación eficientes para mejorar la competitividad del sector de producción de carne de pollo.

El manejo nutricional y las estrategias de alimentación durante la primera fase del ciclo de producción de pollos de engorde adquiere entonces una importancia estratégica, en ese sentido, como lo comenta Jha et al., (2019), la programación nutricional temprana se constituye en una de las herramientas más exitosas para preparar fisiológicamente a los pollos de engorde con miras a obtener su máxima expresión productiva. Durante las primeras semanas de vida de los pollos de engorde ocurren importantes cambios a nivel fisiológico que buscan estructurar la capacidad de crecimiento y su adaptación a un entorno de producción (Dibner et al., 1996; Noy & Sklan, 1998; Perry, 2006; Sell et al., 1991). Sin embargo, el pollito de engorde debe primero superar el estrés generado por el tiempo de retención antes de tener el primer acceso al alimento. Algunos autores han encontrado que entre la eclosión de los primeros pollitos y la ingesta de alimento puede haber un espacio de hasta 72 horas (Noy & Uni, 2010; Willemsen et al., 2010). Durante el tiempo de retención, los pollos no tienen acceso a alimento y/o agua de bebida, lo que aumenta el riesgo de deshidratación (Christensen, 2009), la cual es acompañada fisiológicamente por un retraso en el desarrollo de la micro y macroestructura intestinal (Gonzales et al., 2003; Noy & Uni, 2010), una disminución de la actividad enzimática (Batal & Parsons, 2002; Potturi et al., 2005) y en general por una pérdida de peso corporal (Lamot et al., 2014) por metabolizar las reservas vitelinas (Molenaar et al., 2010).

En pollos de engorde, la glicerina ha sido evaluada con resultados favorables (Jung & Batal, 2011; Souza et al., 2017; Abd-Elsamee et al., 2010; McLea et al., 2011; Silva et al., 2012; da Silva et al., 2017), que se han asociado al metabolismo del glicerol, ya que la tasa de absorción es alta (Kato et al., 2004) debido al bajo peso molecular (Emmanuel et al., 1983), el nivel de energía disponible es mayor por el bajo incremento calórico que genera (AVINESP, 2012) y en el hígado puede ser convertido en glucosa (Hibuse et al., 2006), piruvato u otros productos del ciclo de Krebs, como malato y oxalacetato, u oxidado, vía acetil CoA (Murray et al., 2003), para la producción rápida de energía. Estas características metabólicas del glicerol abren un espacio de reflexión estratégica sobre el uso de glicerina USP durante la fase de estructuración metabólica del crecimiento en pollos de engorde.

Esta reflexión es soportada por el incremento en la producción mundial de biodiesel y un aumento en la oferta de glicerina, ya que esta representa cerca del 10% de la obtención

del biocombustible (Thompson & He, 2006). El aumento en la oferta de glicerina ha hecho que el precio disminuya en el mercado, incluso para la glicerina de alto nivel de refinamiento (el precio de la glicerina USP se redujo en 77.5% entre el 2000 y el 2010) (Ciriminna et al., 2014). Por otro lado, la presencia de residuos contaminantes (ácidos grasos libres y metanol) en la glicerina cruda con diferentes grados de pureza proveniente de la industria del biodiesel ha limitado la comercialización en otras industrias (Ciriminna et al., 2014), como la farmacéutica, lo que ha permitido el desarrollo de trabajos de investigación dirigidos al posicionamiento y optimización de uso de la glicerina en las dietas para animales (Beserra et al., 2016; Lokesha et al., 2017; Silva et al., 2014). En este sentido, considerando la problemática de retraso en el acceso al alimento, el glicerol (glicerina USP) ha sido utilizado en humanos como una estrategia de hidratación durante el ejercicio, reducción de la tasa cardiaca (Montner et al., 1996), la temperatura rectal (Anderson et al., 2001) y la deshidratación (Wingo et al., 2004), asegurando un adecuado desempeño de los atletas.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la utilización de glicerina USP en el agua de bebida o en la dieta de la primera semana de vida de pollos de engorde sometidos a dos tiempos de retraso en el primer acceso al alimento, sobre el desempeño en producción y la concentración de minerales en plasma sanguíneo. Adicionalmente, se evaluó la inclusión de glicerina USP en la dieta de finalización, sobre el desempeño de la última semana de vida y las pérdidas de agua de la carne por goteo y cocción.

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Unidades experimentales y manejo general

El bioensayo se llevó a cabo con 1344 pollos machos de la estirpe ROSS, provenientes de una incubadora comercial, en corrales en piso con cama de cascarilla de arroz, cada uno dotado con criadora a gas, comedero de recepción y de tolva y bebedero manual y automático de galón. La densidad durante la fase de iniciación y hasta el día 35 de edad fue de 56 aves por corral (20 aves/m²), considerando 4 repeticiones para cada

combinación experimental. Después del día 35, disminuyó la densidad animal a 20 aves por corral (12 aves/m²), manteniendo el mismo número de repeticiones por combinación experimental. La temperatura inicial fue de 34°C y se realizó una reducción semanal de 3°C terminando en una temperatura que de 18°C. La iluminación para la primera semana fue continua y a partir de la segunda semana se contó con 16 horas de luz (4 iluminación artificial) y 8 de oscuridad.

4.2.2 Aval de Comité de Bioética

Los protocolos de manejo animal fueron avalados por el comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (acta 05).

4.2.3 Ubicación

Este estudio se realizó en la Unidad de Avicultura del CI Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia, ubicada en el municipio de Mosquera, departamento de Cundinamarca, que presenta temperatura media de 14 °C, humedad relativa del 76% y se localiza a 2516 msnm (4.685222 -74.204722).

4.2.4 Glicerina utilizada

Se utilizó glicerina proveniente de una planta de producción de biodiesel de aceite de palma. La glicerina USP (grado alimenticio) presentó la siguiente composición: 4290 kcal/kg de EB, 1.10% de humedad, 95.7% de glicerol y 0.79 ppm de metanol y se usó un valor de 4118 kcal de EMAn/kg obtenido en un experimento previo (metabolicidad del 96%).

4.2.5 Dietas experimentales

Luego de desarrollar una simulación de la producción de carne de pollo con datos históricos de la unidad de investigación en donde se realizó el estudio se diseñaron las dietas experimentales que se presentan en la tabla 4-1. Las dietas experimentales de cada momento crítico del ciclo de producción de pollos de engorde fueron isocalóricas e isoproteicas y se constituyeron básicamente por torta de soya y maíz y se suministraron en harina a voluntad.

Tabla 4-1: Dietas experimentales utilizadas para determinar el efecto del tiempo de espera antes de recibir el primer alimento y el consumo de glicerina USP en la primera y última semana del ciclo de producción sobre la respuesta y el balance hídrico en pollos de engorde (%) a los 42 días de edad

Ingredientes	Iniciación		Crecimiento	Finalización	
	Control	Glicerina 5.0%		Control	Glicerina 5.0%
Maíz	56.83	51.30	54.33	58.49	50.25
Glicerina USP	-	5.00	-	-	5.00
Harina arroz	8.00	8.00	12.00	12.00	12.00
Soya cocida	-	-	10.00	12.00	9.74
Torta soya-49	29.15	30.24	16.84	15.09	18.92
Harina de pescado	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Aceite de soya	0.50	-	2.01	-	-
Sal	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Bicarbonato de Na	0.33	0.30	0.39	0.43	0.27
Carbonato de Ca	0.93	0.91	0.93	0.82	0.77
Fosfato monobásico	1.18	1.23	1.07	0.79	0.83
DL-Metionina	0.20	0.20	0.20	0.18	0.16
L-Lisina HCl	0.27	0.24	0.16	0.14	0.04
L-Treonina	0.11	0.11	0.05	0.04	0.00
Cl. Colina 60%	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Premezcla vit-min	0.60 ¹	0.60 ¹	0.15 ²	0.15 ²	0.15 ²
Análisis Calculado					
EM (Mcal/Kg)	2.95	2.95	3.10	3.15	3.15
Proteína (%)	21.4	21.2	19.5	18.5	18.9
Calcio	0.89	0.89	0.86	0.76	0.76
P-disponible	0.45	0.45	0.43	0.38	0.38
BED	250	250	250	250	250
Lisina digestible	1.21	1.21	1.00	0.95	0.95
Met + Cis Dig	0.77	0.77	0.72	0.68	0.68

¹ premezcla de vitaminas y minerales (aporte por kilogramo de dieta): vitamina A, 8500 IU; vitamina D3, 3200 IU; vitamina E, 32 IU; vitamina K3, 2.0 mg; tiamina, 4.0 mg; riboflavina, 5.5 mg; niacina, 42 mg; ácido pantoténico, 15 mg; piridoxina, 4.2 mg; biotina, 0.1 mg; ácido fólico, 1.1 mg; vitamina B12, 0.02 mg; colina, 1,1 mg; Zn, 80 mg; Mn, 70 mg; Fe, 55 mg; Cu, 12mg; I, 1.1 mg; Se, 0.4 mg;

² premezcla de vitaminas y minerales (aporte por kilogramo de dieta): vitamina A, 8000 IU; vitamina D3, 2500 IU; vitamina E, 30 IU; vitamina K3, 2.0 mg; tiamina, 1.5 mg; riboflavina, 5.0 mg; niacina, 24 mg; ácido pantoténico, 8 mg; piridoxina, 2.0 mg; biotina, 0.1 mg; ácido fólico, 0.8 mg; vitamina B12, 0.01 mg; colina, 10 mg; Zn, 60 mg; Mn, 64 mg; Fe, 44 mg; Cu, 9 mg; I, 0.9 mg; Se, 0.3 mg.

4.2.6 Protocolo experimental

El estudio evaluó el uso de glicerina USP en dos períodos críticos del ciclo de producción: durante la primera semana de vida de los pollitos con una inclusión al 5% en el alimento o a una tasa de 1.1 mg/g de peso vivo en el agua de bebida (Melin et al., 2002) y de acuerdo

con la ecuación de predicción del consumo de agua propuesta por Brake et al. (1992) (tabla 4-2). Los pollos de engorde fueron sometidos a dos tiempos de retraso en el acceso al alimento y agua de bebida (8 y 16 horas), además, de un tratamiento control que no recibió glicerina. El segundo momento crítico del ciclo de producción correspondió a la fase de finalización (35 a 42 de edad), en donde de cada repetición experimental se obtuvieron otras dos repeticiones, con promedio y desviación estándar similar para el peso corporal, las cuales fueron aleatoriamente distribuidas en dos tratamientos: dieta de finalización con glicerina USP al 5% o dieta control.

Tabla 4-2: Modelo de dilución de glicerina USP en el agua de bebida según la edad de los pollos de engorde

Día	No. Aves	Consumo agua (g/ave/d) ¹	Peso corporal (g) ²	Biomasa corral (g)	Glicerina USP (mg/g de PV) ³	Consumo agua (g/d)	Glicerina USP en agua (%)
1	56	15.9	43.6	2442	2686	890	0.30
2	56	22.0	52.5	2940	3234	1232	0.26
3	56	28.2	62.8	3517	3868	1579	0.24
4	56	34.3	74.7	4183	4602	1921	0.24
5	50	40.4	84.9	4245	4670	2020	0.23
6	50	46.6	99.5	4975	5473	2330	0.23
7	50	52.7	119.9	5995	6595	2635	0.25

¹ estimado como = $9.73 + (6.142 * \text{Edad})$, Brake et al., 1992; ² Histórico de experimentos previos; ³ 1 mg/g de peso vivo

Al inicio del estudio, los pollos de engorde fueron recibidos, pesados y distribuidos al azar por repetición. Los pollos del grupo 1 (8 horas desde la incubadora hasta que se les brindó agua y alimento) fueron distribuidos a cada uno de los siguientes tratamientos: glicerina en el agua, glicerina en el alimento (5%) o control, mientras que el segundo grupo se mantuvo en las cajas de transporte hasta cumplir 8 horas más de espera para ser distribuidos al azar a los tratamientos descritos en el primer periodo de espera. Después del día 7 de edad, la totalidad de los pollos recibieron la dieta control de iniciación hasta el día 21 de edad. Del día 22 al día 34 de edad de suministro una dieta de crecimiento a todos los grupos experimentales. A partir del día 35 de edad, se suministró una dieta de finalización como fue descrito previamente.

La concentración plasmática de sodio, potasio y cloro se evaluó al día uno y cuatro de edad tomando ocho y cinco pollos por repetición, respectivamente. La sangre (6 a 8 ml) fue tomada a través de punción cardíaca, se envasó en vacutainer sin anticoagulante, se centrifugó a 1500 rpm durante 5 minutos, para obtener plasma sanguíneo, y se congeló a -20 para posteriormente ser enviada a un laboratorio especializado en donde se determinó la concentración de Na, K y Cl.

Durante el estudio se registró el momento en que se observó mortalidad para evaluar la supervivencia y ajustar el consumo de alimento. Además, se midió diariamente el consumo de agua durante la primera semana de edad, se realizaron pesajes semanales del grupo de pollos de cada repetición y se registró el residual de alimento para calcular el consumo de alimento. Al día 42 de edad se tomaron dos pollos, con el peso promedio de la repetición, y se beneficiaron en una línea de sacrificio comercial, para reportar el rendimiento en canal caliente y el peso de cada una de las fracciones comerciales de la canal del pollo.

En las muestras de pechuga de los pollos beneficiados se midió el pH (Digimed DM-20) y las pérdidas por goteo y cocción. Para medir las pérdidas por goteo, se siguió el protocolo establecido por Honikel & Hamm (1994), con las modificaciones en los diámetros del trozo de carne realizado por Moron et al. (2003). Brevemente, se tomaron muestras longitudinales del musculo tríceps femoral de 0.5 cm de ancho x 0.5 cm de alto x 3.0 cm de largo de los pollos beneficiados de cada repetición, se realizó el pesaje de estas (1.58 g en promedio) y se suspendieron con un hilo dentro de un vaso plástico, evitando que las muestras tuvieran contacto con las paredes del vaso. El montaje fue mantenido a 4°C y se realizaron pesajes cada 24 h (24, 48 y 72 horas). Para medir las pérdidas por cocción se siguió el protocolo descrito por Ramos (2005), en donde se tomaron las pechugas de los pollos a evaluar, se pesaron, se cubrieron con papel aluminio y se cocinaron en horno convencional a 177°C, hasta que la temperatura interna de la carne llegó a 77°C. Posteriormente, se eliminaron los líquidos liberados y se pesó nuevamente cada pechuga cocida.

4.2.7 Análisis estadístico

Las variables evaluadas durante la fase de iniciación y hasta el día 35 de edad fueron analizadas a través de un diseño completamente al azar con estructura factorial 2x3, con dos tiempos de retraso en el acceso al alimento y tres tipos de manejo alimenticio inicial (glicerina en el agua de bebida, glicerina en la dieta y control), mientras que la respuesta en producción de la última semana, el rendimiento de las fracciones y las pérdidas por goteo y cocción se evaluaron como un diseño de parcelas divididas, con los tratamientos iniciales como parcela principal y el uso o no de glicerina USP durante la última semana del ciclo, como subparcela. Se compararon las medias para los efectos principales con la prueba de TUKEY y las medias ajustadas para la interacción con la opción PDIFF de SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC). Los coeficientes de variación del peso corporal al día 7 de edad fueron transformados de acuerdo con la metodología utilizada por Ribeiro et al (2015), así: $CV = (\arcseno \sqrt{CV(\%)/100} \cdot (180/\pi))$, antes de ser sometidos al análisis estadístico.

4.3 Resultados y discusión

4.3.1 Nivel de electrolitos en plasma de pollos de engorde con retraso en el acceso al alimento

El retraso en el acceso al alimento en pollitos recién eclosionados aumentó ($p < 0.05$) en 15.8 y 18.8% las concentraciones de cloro y sodio en plasma sanguíneo, respectivamente. Además, la concentración de potasio en plasma tendió ($p = 0.088$) a ser 23% mayor en los pollitos que tuvieron 16 horas de restricción en el acceso al alimento (Tabla 3).

Tabla 4-3: Concentración de minerales en plasma sanguíneo de pollos de engorde sometidos a diferentes tiempos retraso en el acceso al alimento

Tiempo de retraso (h)	Sodio (mmol/l)	Potasio (mmol/l)	Cloro (mg/dl)
8	106.9 a	5.26	174.5 a
16	127.0 b	6.90	202.2 b
EEM ¹	3.90	0.225	9.23
Efecto			
Tiempo	0.0110	0.0884	0.0227

¹ error estándar de la media

Después de la eclosión se produce un cambio en el sistema renal del pollito que le permite mantener los balances de los fluidos corporales (Christensen, 2009), por lo que el consumo de agua en neonatos se hace esencial mientras el sistema que controla el balance de líquidos madura (Doneen y Smith, 1982). Vanderhasselt et al. (2010) afirman que las concentraciones plasmáticas de sodio y cloro se correlacionaron con la restricción en el suministro de agua de bebida, respecto a otros indicadores fisiológicos de deshidratación, en pollos de engorde a los 39 días de edad. Posteriormente, Vanderhasselt et al. (2013) reportan que la concentración de sodio y la osmolaridad plasmática son los parámetros que definieron el estado de hidratación previo al embarque en pollos al final del ciclo de producción, lo cual coincide con los resultados encontrados en este estudio con relación a los tiempos de retención evaluados.

Al día 4 de edad, el nivel plasmático de los minerales evaluados fue similar ($p > 0.05$) entre los grupos que tardaron 8 o 16 horas en acceder al alimento y agua de bebida. Sin embargo, la concentración de sodio en el plasma sanguíneo tendió ($p = 0.0797$) a ser menor en las aves que recibieron glicerol en el agua de bebida o en la dieta (122.2 mmol/l) comparado con los pollos del grupo control (135.8 mmol/l) (Tabla 4-4).

Tabla 4-4: Concentración de electrolitos en plasma sanguíneo de pollos de engorde de cuatro días de edad alimentados con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos retraso en el acceso al alimento

Tiempo de retraso (h)	Tratamiento	Sodio (mmol/l)	Potasio (mmol/l)	Cloro (mg/dl)
8	Control	134.6	6.56	198.2
	USP agua	122.7	6.22	176.6
	USP dieta	120.9	6.20	184.1
16	Control	137.0	6.50	203.2
	USP agua	126.2	7.26	195.0
	USP dieta	119.2	6.4	198.7
EEM ¹		6.24	0.466	9.32
Efecto				
Tiempo		0.1598	0.4743	0.1549
Oferta		<u>0.0797</u>	0.3103	0.1271
Tiempo*Oferta		0.9268	0.6197	0.8567

¹ error estándar de la media

Trabajos que relacionen el consumo de glicerina y el estatus de hidratación de aves no fueron encontrados en la literatura, sin embargo, en humanos se ha probado que la ingesta de glicerol, igual como lo hace el consumo de electrolitos, cambia la osmolaridad del plasma (O'Brien et al., 2005). En ese sentido, Coutts et al. (2002), observó que la hiperhidratación previa al ejercicio, a una tasa de 1.2 g de glicerol/kg de peso, generó un incremento la retención de fluidos corporales. Además, Melin et al. (2002) reportan una disminución en las concentraciones plasmáticas de los electrolitos Na y Cl en personas sometidas a hiperhidratación a una tasa de 1.2 g de glicerol/kg de peso y 21.4 ml de agua/kg de masa corporal).

4.3.2 Desempeño durante la primera semana de vida

Las variables productivas de los pollos de engorde evaluadas durante la primera semana de edad, asociadas a los factores experimentales son presentadas en la tabla 4-5. El tiempo de retraso en el acceso al alimento afectó la respuesta productiva de los pollitos de engorde ($p < 0.05$) durante la primera semana de vida. Los pollos que tardaron 16 horas en acceder al alimento y al agua de bebida, comparado con aquellos que tardaron 8 horas, ganaron 0.9 g/d menos ($p < 0.05$) de peso vivo, consumieron 1.3 ml más ($p < 0.05$) de agua, registraron una mayor conversión alimenticia (+0.06, $p < 0.05$), tuvieron un coeficiente de variación mayor en 1.34% y tendieron ($p = 0.059$) a registrar una menor supervivencia (99.3 y 97.9%, para 8 y 16 horas, respectivamente). Por otra parte, los pollos de engorde que consumieron de la dieta con glicerina USP ganaron más ($p < 0.05$) peso (+0.6 g/a/d) y tendieron a presentar una menor ($p = 0.063$) conversión alimenticia (-0.08 g/g) que los pollos del grupo control o aquellos que recibieron glicerina en el agua de bebida.

El retraso en el acceso al alimento en pollos de engorde recién eclosionados causa una disminución temprana en el peso corporal, al relacionarlo con el momento del nacimiento en la ventana de eclosión (Lamot et al., 2014), con la familia genética del ave (Bigot et al., 2003), cuando se ha utilizado una mezcla de ácidos orgánicos después del tiempo de retaso (Cengiz et al., 2012) o cuando se utilizan diferentes estrategias de suplementación (El Rammouz et al., 2011). El incremento en el consumo de agua del grupo con 16 horas de retraso en el acceso al alimento puede coincidir con una compensación frente a un

estado de deshidratación, ya que el aumento en la concentración de electrolitos a nivel plasmático (tabla 4-4) induce sed y causan que el animal consuma más agua (Mushtaq et al., 2013). Por otro lado, El-Husseiny et al. (2008) reportan que retrasos superiores a 72 en el acceso al alimento incrementan la mortalidad de los pollos de engorde, mientras que Noy y Sklan (1999) reportan un aumento numérico en la supervivencia de los pollos que tuvieron acceso temprano a suplementos nutricionales, comparado con aquellos que debieron esperar, lo que algunos investigadores asocian a un agotamiento en las reservas del saco vitelino (Uni y Ferked, 2004).

Tabla 4-5: Desempeño durante la primera semana de vida de pollos de engorde alimentados con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento

Tiempo de retraso (h)	Tratamiento	Ganancia de peso (g/d)	Consumo de alimento (g/d)	Consumo de agua (ml/d)	Conversión alimenticia (g/g)	Homogeneidad, CV (%)	Supervivencia (%)
8	Control	14.8	15.2	27.7	1.03	8.1	99.0
	USP agua	14.9	14.9	27.4	1.00	8.3	99.5
	USP dieta	15.7	14.7	28.3	0.94	7	99.5
16	Control	14.2	15.3	28.5	1.08	9.8	97.3
	USP agua	14.1	15.2	29.1	1.08	9.7	97.7
	USP dieta	14.5	14.4	29.7	0.99	7.7	98.6
EEM ¹		0.49	0.484	0.92	0.027	0.77	0.89
Efecto							
Tiempo		0.0462	0.7772	0.0473	0.0373	0.0481	0.0597
Oferta		0.0497	0.1188	0.4517	0.0637	0.1807	0.5812
Tiempo*Oferta		0.4009	0.9380	0.2281	0.1291	0.8373	0.8609

¹ error estándar de la media

La literatura reporta que la inclusión de hasta 8% de glicerina USP en la dieta de pollos de engorde con retraso en el acceso al alimento (36 o 48 h) mejora la respuesta productiva de la primera semana y posteriores fases del ciclo de producción (Wang et al., 2018), similar a lo observado en la primera semana. De igual manera, también ha sido reportado un efecto positivo en situaciones en donde las aves tuvieron acceso temprano al alimento, con inclusiones de glicerina que van de 4 a 8%, del día 7 al 14 de edad (Abd-Elsamee et al., 2010), de 5 a 10% de glicerina, durante los primeros 7 días (Silva et al., 2012) o al incluir 5% de glicerina, hasta el día 14 de edad (Cerrate et al., 2006). Otros autores reportan

también una disminución en el consumo de alimento y la conversión alimenticia (Mandalawi et al., 2014; McLea et al., 2011), similar a la tendencia observada para esta última variable. Los efectos positivos del uso de la glicerina se pueden asociar a que los pollitos de engorde jóvenes tienen bajo desarrollo del intestino delgado (Sell, 1996; Uni et al., 1998) y reducida actividad amilolítica (Noy & Sklan, 1995), por lo cual, la utilización de glicerol, que presenta una biodisponibilidad mayor que las de los carbohidratos de los cereales (Topal & Ozdogan, 2013) y puede ser utilizado en los procesos de glucogénesis hepática (Kavouras et al., 2006), podrían mejorar el funcionamiento metabólico del pollito.

La utilización de glicerina USP en el agua de bebida no afectó ninguna variable productiva de los pollos de engorde respecto al tratamiento control. La anterior respuesta contrasta con los resultados del trabajo desarrollado por Moraes et al. (2016), quienes reportan que el suministro de agua con glicerina pura, durante una restricción alimenticia en pollos criados en termoneutralidad, disminuyó el consumo de alimento, lo que resultó en una mejor conversión alimenticia. La falta de respuesta al uso de glicerina USP en el agua del presente estudio se puede asociar al nivel utilizado de este coproducto, ya que en el trabajo citado anteriormente se usó agua con 1 o 2% de glicerol, mientras que en el presente estudio el promedio de inclusión fue de 0.25%. Por otro lado, los efectos positivos del consumo de glicerol sobre el balance hídrico se logran cuando se induce hiperhidratación (Anderson et al., 2001; Wingo et al., 2004), es decir, se fuerza a un elevado consumo de agua (21.4 ml de agua/kg de masa corporal) con glicerol, práctica que no se implementó en este ensayo, ya que el consumo de agua fue a voluntad.

4.3.3 Desempeño durante la fase de iniciación

El retraso en el acceso al alimento afectó significativamente la ganancia de peso y la supervivencia de los pollos de engorde durante la fase de iniciación (tabla 6), pero este efecto desapareció durante la fase de engorde (tabla 7). Los pollos de engorde que tardaron 8 horas ganaron 1.1 g más de peso corporal por día ($p < 0.05$) y tendieron ($p = 0.098$) a presentar una mayor homogeneidad (-0.8 en el coeficiente de variación) que sus contrapartes del día 1 al 21 de edad.

Tabla 4-6: Desempeño durante la fase de iniciación (1-21 días de edad) de pollos de engorde alimentados durante la primera semana de vida con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento

Tiempo de retraso (h)	Tratamiento	Ganancia de peso (g/d)	Consumo de alimento (g/d)	Conversión alimenticia (g/g)	Homogeneidad, CV (%)	Supervivencia (%)
8	Control	29.1	42.0	1.44	8.8	95.5
	USP agua	29.3	42.2	1.44	8.2	95.5
	USP dieta	30.1	43.1	1.43	7.7	97.3
16	Control	28.4	42.0	1.48	9.5	94.2
	USP agua	28.3	41.1	1.45	9.1	95.5
	USP dieta	28.4	41.2	1.45	8.4	95.9
EEM ¹		0.58	0.93	0.021	0.77	0.57
Efecto						
Tiempo		0.0453	0.2062	0.1800	<u>0.0986</u>	0.1208
Oferta		0.6277	0.8692	0.6273	0.3425	0.1742
Tiempo*Oferta		0.6637	0.6062	0.8504	0.7655	0.8373

¹ error estándar de la media

Tabla 4-7: Desempeño durante la fase de engorde (22-35 días de edad) de pollos de engorde alimentados durante la primera semana de vida con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento

Tiempo de retraso (h)	Oferta	Ganancia de peso (g/d)	Consumo de alimento (g/d)	Conversión alimenticia (g/g)	Supervivencia (%)
8	Control	73.4	117.6	1.60	98.5
	USP agua	71.3	115.9	1.62	98.5
	USP dieta	74.0	117.6	1.59	99.5
16	Control	72.7	117.4	1.61	99.5
	USP agua	72.8	117.0	1.61	99.0
	USP dieta	73.0	116.5	1.59	98.5
EEM ¹		1.68	2.57	0.038	0.76
Efecto					
Tiempo		0.9551	0.9714	0.9377	0.7978
Oferta		0.6939	0.9184	0.7925	0.9355
Tiempo*Oferta		0.7078	0.9128	0.9267	0.4329

¹ error estándar de la media

El retraso en el acceso al alimento afectó el desempeño de los pollos (menor peso corporal y homogeneidad) en las primeras fases del ciclo de vida, pero en la fase de engorde estos

efectos desaparecieron, esta tendencia también ha sido reportada por Cengiz et al. (2012), cuando indujeron un retraso de 36 horas en el acceso al alimento en dos estirpes de pollo de engorde, por Petek et al. (2007), evaluando un retraso también de 36 horas, en machos de la estirpe Ross y por Lamot et al. (2014), en pollos de engorde del mismo lote nacidos en diferentes momentos. Por otro lado, en el trabajo de Gonzales et al. (2003) no se observaron diferencias significativas en la tasa de mortalidad de pollos con diferentes tiempos de ayuno inicial.

Las respuestas positivas en crecimiento con el uso de glicerina cruda han estado influenciadas por un aumento en el consumo de alimento (Guerra et al., 2011), respuesta que no se evidenció en este estudio durante la fase de engorde. Por otro lado, la mayoría de los trabajos han evaluado el efecto concomitante del consumo de glicerina en las diferentes fases productivas y no se evalúa el efecto de arrastre posterior, lo que dificulta su comparación respecto a otros trabajos de investigación. Sin embargo, algunos autores coinciden en que las diferencias productivas observadas en las fases iniciales de crecimiento desaparecen durante la fase de engorde, aun cuando las aves continúan consumiendo dietas con este coproducto (Cerrate et al., 2006; Fernandes et al., 2010; Freitas et al., 2017; Silva et al., 2012), aduciendo que las dietas con glicerol son mejor utilizadas por las aves jóvenes respecto a aquellas dietas que contienen mayor proporción de cereales.

4.3.4 Desempeño durante la fase final del ciclo de producción

Los pollos de engorde que consumieron dietas con 5% de glicerina USP presentaron un incremento ($p < 0.05$) en las variables productivas evaluadas, ya que consumieron 8.1% más de alimento y ganaron 9.1% más de peso corporal, lo que permitió que pesaran al final 59 g más, comparado con los pollos del grupo control, sin embargo, registraron 1% más ($p < 0.05$) de mortalidad (tabla 8). Por otro lado, los pollos de engorde que demoraron 16 horas en recibir alimento, comparados con aquellos que tardaron 8 horas, registraron al final del ciclo productivo un peso corporal similar ($p > 0.05$), a pesar de que la diferencia de las medias fue de 52 g.

Tabla 4-8: Desempeño productivo durante la fase de finalización de pollos de engorde alimentados durante la primera semana de vida con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de arribo a la granja y con glicerina USP en la dieta durante la última semana

Factor experimental	Ganancia de peso (g/d)	Consumo de alimento (g/d)	Conversión alimenticia (g/g)	Supervivencia (%)	Peso final (g)
Retraso (h)					
8	82.4	188.1	2.28	98.7	2267
16	78.5	183.4	2.33	99.4	2215
EEM	1.55	1.96	0.044	0.37	17.4
Tratamiento					
Control	82.4	187.9	2.28	98.4	2268
USP agua	79.5	184.8	2.32	99.2	2208
USP dieta	79.2	184.5	2.33	99.7	2249
EEM	1.90	2.40	0.053	0.45	21.3
Glicerina finalización (%)					
0	76.9 b	178.4 b	2.32	99.6 a	2212 b
5	83.9 a	192.9 a	2.30	98.6 b	2271 a
EEM	1.55	1.96	0.044	0.37	17.4
Efectos					
Tiempo	0.1134	0.1076	0.8662	0.2161	0.1234
Oferta inicio	0.4463	0.3946	0.4704	0.1589	0.2921
Tiempo*Oferta	0.4912	0.8525	0.4394	0.2188	0.1590
Oferta final	0.0031	0.0013	0.2341	0.0472	0.0229

En el trabajo realizado por Adeleye et al. (2018), con pollos de engorde de dos estirpes comerciales, no se observó cambio en el peso final entre 4 o 24 horas de retraso en el acceso al alimento, similar a lo encontrado en el presente estudio. Sin embargo, en ese trabajo los pollos retenidos por 48 horas registraron una reducción significativa en el peso corporal. De igual manera, cuando se comparó un ayuno inicial de 12 vs 18 horas, no se observó cambio en el peso final de los pollos de engorde (Gonzales et al., 2003), pero al comparar ayunos de 30 horas vs 12 horas, la reducción en el peso corporal fue evidente. En otros trabajos que han evaluado una retención por 48 horas también se ha observado un efecto negativo sobre el peso al mercado (Abed et al., 2011; Bhanja et al., 2009).

El incremento del consumo de alimento asociado al consumo de glicerina ha sido reportado por otros autores (Romano et al., 2014), y generalmente se atribuye a un incremento en la palatabilidad de las dietas (Min et al., 2010). En este estudio, el incremento en la ganancia de peso del grupo que recibió la dieta con 5% de glicerina USP coincidió con un aumento en el consumo de alimento. La mayor ganancia de peso durante la fase de finalización

coincide con el reporte de Bernardino et al. (2015), con un óptimo de inclusión cercano al 3.5%, el de Avellaneda et al. (2009), con un óptimo de 3.9%, y a la tendencia observada en los resultados mostrados por Sehu et al. (2012), con óptimos de 5% de inclusión. La respuesta positiva encontrada debido al consumo de glicerina se puede asociar con el incremento en la retención de nitrógeno debido al ahorro de aminoácidos glucogénicos vía inhibición de la fosfoenol piruvato carboxiquinasa (Wapnir y Stiel, 1985), el mayor aporte de energía neta comparado con el maíz (maíz: 87; glicerina: 100; AVINESP, 2014) y el mejoramiento de la digestibilidad de la materia seca (Mandalawi et al., 2014; Kim et al., 2013).

4.3.5 Rendimiento en canal y pérdidas de agua de la carne

El rendimiento en canal y peso porcentual de las diferentes fracciones no fue afectado por los tratamientos experimentales evaluados en este estudio (en promedio para todos los grupos, el rendimiento fue de 67.0%, la pechuga de 35.1%, la pierna pernil de 31.4%). Sin embargo, el porcentaje de grasa abdominal fue 0.27% menor ($p < 0.05$) en los pollos que tardaron 16 horas en acceder al alimento y agua de bebida comparado con aquellos que tardaron ocho horas (1.81 y 1.54% para 8 y 16 horas, respectivamente). A nivel general, se ha encontrado que la inclusión de glicerina en las dietas no altera el rendimiento en canal (Freitas et al., 2017; Guerra et al., 2011; Gianfelici et al., 2009; Silva et al., 2012; Sehu et al. 2012), sin embargo, Cerrate et al., (2006) encontraron que al 2.5 o 5.0% de inclusión se incrementó el porcentaje de pechuga.

El pH de la carne de la pechuga y las pérdidas por cocción no fueron afectadas por ninguno de los factores experimentales tenidos en cuenta en este estudio (tabla 9), pero el tiempo de acceso al alimento incidió sobre la pérdida de agua por goteo de la carne de pollo, medida al día 2 y 3 de evaluación. En ese sentido, la carne de pollo de las aves que tardaron 16 horas en recibir alimento perdió menos ($p < 0.05$) agua que la de las aves que tardaron 8 horas. En el estudio presentado por Faria et al. (2013) encontraron que la utilización de glicerina cruda en niveles hasta del 12% no afectó el pH o las pérdidas por cocción de la carne de pechuga o muslo, similar a lo reportado en el presente estudio, con valores similares para pH (rango de 5.89-5.95) pero superiores en pérdidas por cocción

(rango de 19.5-23.1%). En cerdos, la utilización de glicerina cruda hasta el 15% (Leite et al., 2017) o glicerina semipurificada hasta el 14% (Gallego et al., 2016) no afectó el pH o las pérdidas por goteo de la carne del músculo del lomo, sin embargo, en el último trabajo, se identificó una tendencia cuadrática en las pérdidas por goteo con mayor valor entre 7 y 10.5% de inclusión de glicerina.

Tabla 4-9: Características de la carne de la pechuga de pollos de engorde alimentados durante la primera semana de vida con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de arribo a la granja y con glicerina USP durante la última semana del ciclo

Factor experimental	pH	Perdidas por goteo			Perdidas por cocción
		24 horas	48 horas	72 horas	
Retraso (h)					
8	5.94	14.2	31.9 b	44.6 b	18.7
16	5.90	14.5	27.7 a	41.5 a	17.7
EEM	0.059	0.61	1.18	0.96	1.19
Tratamiento					
Control	5.90	14.2	30.5	43.5	17.5
USP agua	5.88	14.8	31.0	43.9	18.5
USP dieta	5.98	14.0	27.9	41.7	18.7
EEM	0.073	0.74	1.45	1.17	1.47
Glicerina finalización (%)					
0	5.95	14.5	30.3	44.1	19.4
5	5.88	14.1	29.3	42.9	17.0
EEM	0.059	0.61	1.18	0.96	1.19
Efectos					
Tiempo	0.6111	0.6955	0.0175	0.0267	0.5421
Oferta inicio	0.6215	0.7218	0.2968	0.3857	0.8204
Tiempo*Oferta	0.5464	0.2733	0.1282	0.1274	0.2125
Oferta final	0.4239	0.6052	0.5429	0.8339	0.1612

Conclusiones

El mayor retraso en el acceso al alimento en pollitos de engorde generó un estado de deshidratación inicial (mayor concentración de sodio y cloro en plasma sanguíneo). Los pollos que fueron retenidos 16 horas en comparación con los que demoraron 8 horas en recibir agua y alimento, consumieron más agua (+4.6%) y fueron menos homogéneos (+1.3% en el CV) al día 7 de edad y ganaron menos peso (-3.8%) y registraron mayor mortalidad (+0.9%) hasta el día 21.

Los pollos de engorde que recibieron glicerina USP en la dieta tendieron a registrar una menor concentración de sodio en el plasma sanguíneo al día 4 de edad y ganaron más peso (+4.1%) y presentaron una menor conversión alimenticia (-8.5%) al día 7 de edad, que los pollos de los otros grupos.

La utilización de dietas con glicerina USP en la última semana de edad generó un mejoramiento en las variables productivas evaluadas, ya que los pollos de engorde consumieron más de alimento (+8.1%) y ganaron más de peso corporal (+9.1%), pero, registraron más mortalidad (+1.0%) comparado con los pollos del grupo control.

5. Capítulo 5. Inclusión de glicerina cruda o USP en dietas prepostura y prepico de gallinas ponedoras marrón

Resumen

Este ensayo evaluó el efecto de la inclusión de glicerina cruda o USP en dietas de transición, de la semana 17 hasta el 50% de postura, de gallinas ponedoras sobre la respuesta productiva hasta la semana 42 de edad. Se utilizaron 252 pollonas de 16 semanas de edad de la estirpe Backcob Brown (6 repeticiones por tratamiento). Las aves se distribuyeron al azar en los siguientes tratamientos: control o con inclusión de 3, 6 o 9% de EM de las dietas proveniente de la inclusión de glicerina cruda o USP. Todas las aves después del 50% de postura recibieron la dieta control. Durante el ensayo se recolectó información semanal de consumo de alimento, porcentaje de postura, peso y masa del huevo y conversión alimenticia, así como del tiempo al inicio de la postura, el número y tamaño de las nidadas y el tamaño de la pausa. Además, se evaluó el grosor de la cáscara, el color de la yema y la altura de la albúmina. La información se analizó como un diseño factorial incompleto $2 \times 3 + 1$ (dos tipos de glicerina, tres niveles de inclusión y un tratamiento control). Las aves alimentadas con la mayor inclusión de glicerina tendieron a consumir más alimento ($p < 0.1$, $+1.5$ g/ave/d) y ganar más peso (1.1 g/ave/d) que las del grupo control, entre las semanas 17 y 19. Posteriormente, este grupo presentó un mayor ($p < 0.05$) consumo de alimento en los dos primeros meses de postura (entre 2.5 y 3.4 g/ave/d) y pusieron 10.6% más ($p < 0.05$) en el primer mes y 4.3% más ($p = 0.093$) en el segundo mes de postura, comparado con el grupo control. Los parámetros de calidad del huevo no fueron afectados por el nivel de inclusión de glicerina, pero la altura de la albúmina fue mayor ($p < 0.05$) en los huevos de gallinas que consumieron glicerina USP comparados con glicerina cruda ($+0.72$ mm). El consumo de glicerina tendió ($p = 0.084$) a disminuir el tiempo a la madurez sexual de las gallinas del estudio. Las aves que consumieron dietas con alta inclusión de glicerina pausaron 0.5 días menos ($p < 0.05$), lo que permitió que pusieran 4.5

huevos más ($p < 0.05$) que las del grupo control. En conclusión, el aporte de 9% de energía proveniente de la glicerina, durante la fase de transición, mejora el consumo de alimento y el número de huevos puestos hasta el segundo mes de postura al disminuir el tiempo de pausa entre las nidadas.

Palabras claves: consumo de alimento, transición, postura, tamaño de nidada

Abstract

Crude and USP glycerin inclusion in pre-posture and pre-pick diets of brown laying hen

The effect of crude or USP glycerin inclusion in transition diets was evaluated, around the beginning of the posture, on laying hen's performance until 42 weeks of age. A total of 252 Backcob Brown pullets of 16-week-old (6 replications per treatment) were used, and randomly assigned to one of the following treatments: preposture and prepick diets with 3, 6 or 9% of ME coming from crude glycerin, USP or control diet. All pullets after 50% posture received control diet. During the study, consumption, egg production, egg weight and feed conversion were recorded every week. Time at beginning of posture, number and size of clutches and size of pause were also recorded. In addition, shell thickness, yolk color score and albumen height were evaluated. Information was analyzed as an incomplete factorial design $2 \times 3 + 1$ (two glycerin, three inclusion levels and one control treatment). Birds fed diets that contributed 9% energy from glycerin tended ($p < 0.1$) to consume more feed (+1.5 g/pullet/d) and gain more weight (1.1 g/pullet/d) than those in control group, from week 17 to 19, and later, they consumed more ($p < 0.05$) feed in first two months of laying (+2.5 and 3.4 g/hen/d) and put 10.6% more eggs ($p < 0.05$) in the first month and 4.3% more eggs ($p = 0.093$) in the second month, compared with the control group. Egg quality parameters were not affected by glycerin, but albumen height was higher ($p < 0.05$) in the eggs of hens that consumed USP glycerin compared with crude glycerin (+0.72). Glycerin consumption tended ($p = 0.084$) to decrease the time to sexual maturity of laying-hens. The hens that consumed diets with high inclusion of glycerin paused 0.5 days less ($p < 0.05$) which allowed them to put 4.5 more eggs ($p < 0.05$) than those of control group. In conclusion, the contribution of 9% energy from glycerin, during transition phase, improves the consumption of feed and the number of eggs laid until the second month of posture by decreasing the pause time between clutches.

Key words: feed intake, transition, egg production, clutch size

5.1 Introducción

El alto crecimiento del sector avícola en Colombia, traducido en un aumento del 7.9% en el encasamiento, permitió llegar a un consumo de 279 huevos por persona en el año 2017 (FENAVI, 2017). La anterior situación genera una fuerte presión sobre la industria de alimentos balanceados, ya que la rentabilidad del sector avícola está fuertemente influenciada por el precio de la dieta (Altahat et al., 2012) que, a su vez, para el caso colombiano, depende en gran medida de dos materias primas fundamentales, el maíz y la soya (DANE, 2013). La anterior situación obliga a la búsqueda recursos alternativos y estrategias de alimentación que permitan disminuir los costos de producción, sin alterar el desempeño productivo de las estirpes actuales.

El periodo de transición en gallinas de postura comprende la etapa alrededor del inicio de la postura y constituye un momento clave en la vida de la ponedora, al determinar el desempeño productivo posterior (Sujatha y Rajini, 2015). Durante esta fase ocurren importantes cambios fisiológicos, entre los que se pueden mencionar, el desarrollo acelerado del ovario y el oviducto y el aumento en el tamaño del hígado (Sujatha et al., 2014), que tienen como objetivo preparar a la gallina para el inicio de la postura y soportar el cambio en el metabolismo asociado al sistema reproductivo. Además, la futura ponedora debe aumentar significativamente de peso, al cabo de dos o tres semanas, ya que debe acumular reservas corporales que le permitirán sostener la producción y el tamaño del huevo a través del ciclo de postura (Summers, 1993). En ese sentido, el manejo nutricional y los programas de iluminación, previos al inicio de la postura, tienen importantes efectos sobre la madurez sexual y la vida productiva de la ponedora (de Beer y Coon, 2007; Gous, 2014). Dos aspectos importantes se deben considerar en esta etapa desde el punto de vista alimenticio, primero, el adecuado aporte de nutrientes (energía y proteína, principalmente) para permitir la acumulación de reservas corporales (Cankaya et al., 2008) y, segundo, la estimulación del apetito para aumentar la capacidad de consumo de alimento, evitando el exceso de grasa (Lazaro y Mateos, 2008).

En los últimos años se ha incrementado la producción de glicerina proveniente de la industria del biodiesel, llegando a más de 2 millones de toneladas en el 2011 (Ciriminna et

al., 2014), lo que ha hecho que el precio en el mercado disminuya (Yang et al., 2012) y ha abierto la posibilidad para que se use como recurso energético alternativo en diferentes sistemas de alimentación animal (Beserra et al., 2016; FAO 2012; Silva et al., 2014; Vongsamphanh et al., 2017). El glicerol, que es una molécula de bajo peso molecular y alta solubilidad en agua, tiene una rápida absorción a nivel intestinal por transporte activo (transportador dependiente de sodio) o transporte pasivo (Kato et al., 2004). El glicerol libre, junto con los ácidos grasos de cadena corta, es absorbido directamente en la mucosa del intestino delgado y transportado por el sistema portal al hígado, donde es convertido en glucosa (Hibuse et al., 2006), piruvato u otros productos del ciclo de Krebs, como malato y oxalacetato, u oxidado, vía acetil CoA (Murray et al., 2003), para la producción de energía. La dinámica nutricional del glicerol conlleva a la generación de un alto valor de energía neta o efectiva (Emmans, 1994) dado el bajo incremento calórico que genera.

En ensayos de alimentación con gallinas ponedoras, dirigidos a determinar el valor de energía metabolizable de la glicerina, se han usado niveles hasta del 15% de este recurso, durante periodos cortos (menos de dos semanas) y no se ha observado efecto negativo sobre el desempeño productivo de las aves (Lammers et al., 2008; Nemeth et al., 2013). Sin embargo, en un trabajo previo desarrollado por este grupo de investigación, donde se evaluó la inclusión de glicerina cruda en niveles hasta del 15%, durante dos meses, se observó una disminución en el consumo de alimento en niveles altos de inclusión (12 y 15%), pero no se evidenció efecto negativo sobre el desempeño productivo de las aves (Avellaneda et al., 2013). Otros ensayos de alimentación han utilizado glicerina con inclusiones máximas entre 7.5 y 10% y no han evidenciado efectos negativos sobre la respuesta productiva de las aves (Boso et al., 2013; Cufadar et al., 2016; Swiatkiewicz Kolereski, 2009; Yalcin et al., 2010).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la inclusión de glicerina cruda o USP en las dietas de prepostura (semana 17 hasta el 5% de postura) y prepico (desde el 5% y hasta el 50% de postura) sobre el consumo de alimento y el peso corporal previo al inicio de la postura y el desempeño productivo grupal e individual de gallinas ponedoras marrón hasta la semana 42 de edad en condiciones de altitud.

5.2 Materiales y Métodos

5.2.1 Unidades experimentales

Para este estudio se seleccionaron 252 pollitas de 16 semanas de edad con peso homogéneo, provenientes de un lote comercial, pertenecientes a la estirpe Backcob Brown, que fueron ubicadas individualmente en jaulas de baterías de dos niveles, dotada cada una con un bebedero automático de niple y comedero lateral de canal. Seis gallinas alojadas adyacentes, que compartieron un mismo comedero y estaban separadas de las demás, fueron consideradas la unidad experimental (6 repeticiones por tratamiento).

5.2.2 Aval de Comité de Bioética

Los protocolos de manejo animal fueron avalados por el comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (acta 05).

5.2.3 Ubicación

Este estudio se realizó en la Unidad de Avicultura del CI Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia, ubicada en el municipio de Mosquera, departamento de Cundinamarca, que presenta temperatura media de 14 °C, humedad relativa del 76% y se localiza a 2516 msnm (4.685222 -74.204722).

5.2.4 Glicerina utilizada

Se utilizó glicerina proveniente de una planta de producción de biodiesel de aceite de palma. La glicerina USP presentó la siguiente composición: 4290 kcal/kg de EB, 1.10% de humedad, 95.7% de glicerol y 0.79 ppm de metanol y se usó un valor de 4118 kcal de EMAn/kg obtenido en un experimento previo (metabolicidad del 96%). La composición de la glicerina cruda fue la siguiente: 3547 kcal/kg de EB, 8.21% de humedad, 84.2% de

Tabla 5-1: (Continuación)

Premezcla vit-min ¹	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Análisis Calculado							
EM (kcal/Kg)	2800	2800	2800	2800	2800	2800	2800
EM desde la glicerina (kcal)		84	168	252	84	168	252
Proteína (%)	18	18	18	18	18	18	18
FC (%)	3.41	3.34	3.3	3.3	3.42	3.43	3.41
Calcio (%)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.55
P-disponible (%)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
BED (mEq/Kg)	250	250	250	250	250	250	250
Lisina digestible (%)	0.80	0.81	0.82	0.82	0.80	0.81	0.81
Met+Cis digestible (%)	0.73	0.73	0.74	0.74	0.73	0.73	0.73

¹ Premezcla de vitaminas y minerales (aporte por kilogramo de dieta): vitamina A, 7500 IU; vitamina D3, 1900 IU; vitamina E, 28 IU; vitamina K3, 1.5 mg; tiamina, 2.0 mg; riboflavina, 5.0 mg; niacina, 30 mg; ácido pantoténico, 10 mg; piridoxina, 2.8 mg; biotina, 0.01 mg; ácido fólico, 0.7 mg; vitamina B12, 0.01 mg; colina, 10 mg; Zn, 65 mg; Mn, 70 mg; Fe, 50 mg; Cu, 10 mg; I, 1.0 mg; Se, 0.3 mg.

Tabla 5-2: Dietas experimentales de prepico formuladas para evaluar la inclusión de glicerina cruda o USP durante la fase de transición en ponedoras marrón (%)

Ingredientes	Control	Glicerina Cruda			Glicerina USP		
		3% de EMAn	6% de EMAn	9% de EMAn	3% de EMAn	6% de EMAn	9% de EMAn
Maíz	40.2	37.6	34.5	30.0	37.1	34.1	31.4
Glicerina Cruda	-	2.72	5.41	8.13	-	-	-
Glicerina USP	-	-	-	-	2.01	4.00	6.02
Salvado trigo	17.04	16.49	16.28	17.04	17.72	18.00	18.00
Harina arroz	3.58	3.36	3.27	3.58	3.85	3.96	3.97
Soya cocida	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Torta soya-49	14.38	15.02	15.59	15.95	14.59	14.94	15.39
Aceite de soya	2.00	2.00	2.10	2.50	2.00	2.00	2.00
Sal común	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Bicarbonato de Na	0.29	0.29	0.28	0.27	0.27	0.27	0.26
Carbonato de Ca	8.34	8.32	8.31	8.29	8.33	8.48	8.75
Fosfato monobásico	1.21	1.24	1.27	1.30	1.23	1.26	1.28
DL-Metionina	0.20	0.21	0.22	0.24	0.21	0.22	0.23
L-Treonina	0.14	0.15	0.15	0.16	0.14	0.15	0.15
Cl. Colina 60%	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Premezcla vit-min	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Análisis Calculado							
EM (kcal/Kg)	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750
EM desde la glicerina (kcal)		84	83	165	248	83	165
Proteína (%)	18	18	18	18	18	18	18

Tabla 5-2: (Continuación)

FC (%)	3.42	3.35	3.3	3.3	3.43	3.41	3.38
Calcio (%)	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.65	3.70
P-disponible (%)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
BED (mEq/Kg)	250	250	250	250	250	250	250
Lisina digestible (%)	0.80	0.81	0.82	0.82	0.80	0.81	0.82
Met+Cis digestible (%)	0.73	0.74	0.75	0.75	0.73	0.73	0.74

¹ Premezcla de vitaminas y minerales (aporte por kilogramo de dieta): vitamina A, 7500 IU; vitamina D3, 2000 IU; vitamina E, 10 IU; vitamina K3, 1.8 mg; tiamina, 1.8 mg; riboflavina, 4.0 mg; niacina, 25 mg; ácido pantoténico, 10 mg; piridoxina, 1.7 mg; biotina, 0.1 mg; ácido fólico, 0.5 mg; vitamina B12, 0.01 mg; colina, 12 mg; Zn, 72 mg; Mn, 77 mg; Fe, 55 mg; Cu, 11 mg; I, 1.1 mg; Se, 0.33 mg.

5.2.6 Protocolo experimental

Semanalmente, se registró el alimento residual para calcular el consumo promedio de cada repetición. Diariamente, a la misma hora (11:00 AM), se recogieron los huevos de cada repetición y al final de la semana se totalizaron, pesaron y clasificaron para calcular la conversión alimenticia por docena y el porcentaje de postura. Para facilitar el análisis de la información, los resultados se presentan por mes de postura o periodo, siendo el periodo 1 de la semana 20 a 23, el periodo 2 de la semana 24 a 27, el periodo 3 de la semana 28 a 31, el periodo 4 de la semana 32 a 35, el periodo 5 de la semana 36 a 39 y el periodo 6 de la semana 40 a 42. Además, se llevó el registro individual de cada gallina, en el que se contabilizó el inicio de la postura, el número de huevos consecutivos puestos y los tiempos de pausa entre cada nidada, los que se presentan hasta la semana 42 de edad de las aves.

Finalmente, a la semana 25 y 35 de edad se seleccionaron dos huevos de tamaño AA de cada repetición para evaluar el grosor de la cáscara (micrómetro marca Ames, modelo 25-5), el color de la yema (escala roche), la altura de la albúmina (micrómetro marca Ames, modelo S-8400) y el peso del huevo. Además, se calcularon las unidades Haugh ($100 \cdot \log(\text{altura de la albumina} - 1.7 \cdot (\text{peso del huevo}^{0.37}) + 7.6)$), como indicador de la calidad del huevo.

5.2.7 Análisis estadístico

Este estudio se analizó como un diseño factorial incompleto $2 \times 3 + 1$ (dos tipos de glicerina, tres niveles de inclusión y un tratamiento control). Cuando los efectos principales fueron significativos se realizó una prueba de medias de Tukey comparando los niveles de glicerina o la calidad de la glicerina utilizada, mientras que para evaluar el efecto de la interacción se utilizó una prueba de medias ajustadas, fijando el factor tipo de glicerina o nivel de inclusión para la comparación correspondiente. Adicionalmente, a través de contrastes ortogonales se evaluó el tipo de efecto (lineal, cuadrático o cúbico) de la inclusión de glicerina en la dieta. Los coeficientes de variación del peso corporal a la semana 20 de edad fueron transformados de acuerdo con la metodología utilizada por Ribeiro et al (2015), así: $CV = (\arcseno \sqrt{CV(\%)/100} * (180/\pi))$, antes de ser sometidos al análisis estadístico. La información fue procesada a través del paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS Inst., Inc., Cary, NC), por medio del procedimiento MIXED.

5.3 Resultados y discusión

5.3.1 Desempeño antes del inicio de la postura

De la semana 17 a la 19 de edad, se observó una tendencia lineal positiva ($p < 0.05$) en la respuesta productiva al incrementar la inclusión de glicerina en las dietas de las pollas marrón (tabla 3). En ese sentido, las aves alimentadas con dietas que aportaban el 9% de la energía proveniente de la glicerina, comparado con las aves del grupo control, ganaron 1.1 g/ave/d más ($p = 0.087$), pesaron 34 g más a la semana 20 ($p = 0.096$), consumieron 3.0 g/ave/d más ($p < 0.05$) y registraron 1.1% menos ($p < 0.05$) en el coeficiente de variación. Por otro lado, el consumo de alimento y la ganancia de peso de las aves alimentadas con glicerina USP fue mayor ($p < 0.05$) que la observada en las aves alimentadas con glicerina cruda (+2.6 y +0.9 g/ave/d, para consumo y ganancia de peso, respectivamente) (tabla 3).

Reportes de literatura que evalúen la utilización de glicerina en la fase de recría de ponedoras no son disponibles, por ello, los resultados se comparan con los hallazgos revelados para la fase de finalización de pollos de engorde. En ese sentido, el incremento en el consumo de alimento en función a la inclusión de glicerina en las dietas también fue descrito por Guerra et al (2011) en la fase de engorde, cuando utilizaron glicerina cruda,

respuesta que se puede asociar a una mejor palatabilidad de las dietas (Min et al 2010) y un mejoramiento en la textura del alimento (Loreska et al., 2017). Por otro lado, Sehu et al., (2012) reportan un incremento del 6% en la ganancia de peso, comparado con el grupo control, cuando se incluyó 10% de glicerina durante la cuarta semana de edad. En este mismo sentido, Avellaneda et al. (2009a), encontraron que pollas de engorde ganaron 4% más de peso cuando se incluyó 6% de glicerina cruda en el periodo comprendido entre el día 24 y el 42 de edad. A nivel general, la mayoría de los autores coincide en que inclusiones de glicerina en las dietas de pollos de engorde, cercanas al 5%, maximizan la utilización de este coproducto (Guerra et al., 2011; McLea et al., 2011; Oliveira et al., 2013). Sin embargo, los resultados encontrados en este estudio indican que inclusiones del 6.1% de glicerina USP u 8.2% de glicerina cruda favorecen la respuesta productiva de aves en la fase de recría. El incremento en la ganancia de peso, relacionado con el consumo de glicerina, se puede asociar con el aumento en el aporte de energía neta de la glicerina comparado con el del maíz (energía efectiva/energía metabolizable es 1 para glicerina y 0.87 para maíz, AVINESP, 2014).

Tabla 5-3: Desempeño de pollas marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP desde la semana 17 a la 20 de edad

Aporte de EM	Glicerina	Peso semana 17 (g)	Peso semana 20 (g)	Ganancia de peso (g/d)	Consumo alimento (g/d)	CV peso semana 20
0	-	1293	1682	13.9	82.7	10.4
3	USP	1295	1709	14.7	84.6	10.3
3	Cruda	1295	1687	14.0	83.2	10.1
6	USP	1297	1725	15.3	86.3	9.7
6	Cruda	1293	1678	13.7	82.8	9.8
9	USP	1297	1723	15.2	87.0	9.2
9	Cruda	1295	1707	14.7	84.4	9.3
EEM ¹		15.3	11.1	0.342	0.587	0.401
Efectos ²						
Nivel		NS	+	+	*	*
Glicerina		NS	*	*	*	NS
Nivel*Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS
Efecto glicerina ³		NS	L	L	L	L

¹ error estándar de la media; ² +:p<0.1, *: <0.05, NS: no significativo; ³ L: lineal

5.3.2 Consumo de alimento durante la fase de producción de huevos

El consumo de alimento durante los dos primeros meses de postura se incrementó linealmente ($p < 0.05$) al aumentar el nivel de inclusión de glicerina en las dietas de la fase de prepostura y prepico (tabla 5-4). Las gallinas que recibieron dietas diseñadas para aportar 9% de la energía metabolizable a partir de la glicerina, consumieron 2.5 g/ave/d más ($p < 0.05$) de alimento en el primer mes y 3.4 g/ave/d más ($p < 0.05$) de alimento en el segundo mes, comparado con el grupo control. A partir del tercer mes de postura el consumo fue similar entre los tratamientos experimentales.

Tabla 5-4: Consumo diario de alimento (g/ave/d) de gallinas ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición

Aporte de EM	Glicerina	Periodo					
		1	2	3	4	5	6
0		102	114	117	120	119	119
3	USP	104	116	119	118	119	119
3	Cruda	103	115	116	116	117	117
6	USP	104	116	117	118	117	117
6	Cruda	104	116	117	117	117	118
9	USP	105	118	117	118	118	117
9	Cruda	106	116	117	117	118	118
EEM ¹		0.622	0.841	1.80	1.89	1.98	2.11
Efectos ²							
Nivel		*	*	NS	NS	NS	NS
Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel*Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto glicerina ³		L	L	NS	NS	NS	NS

¹ error estándar de la media; ²*: < 0.05 , NS: no significativo; ³ L: lineal

Algunos autores indican que la glicerina puede estimular el consumo de alimento por el sabor dulce de este recurso (Min et al., 2010). En ese sentido, Fontinele et al. (2017), utilizando glicerina cruda en dietas de gallinas marrón, durante el segundo ciclo de postura (90 semanas de edad), encontraron un efecto cuadrático de la inclusión de glicerina en las dietas sobre el consumo de alimento, estimando una respuesta máxima cuando la inclusión fue de 6%. De igual manera, Suchy et al. (2012), cuando reemplazaron aceite de soya por glicerol puro (80% de glicerol), encontraron que el grupo alimentado con 4% de glicerol (reemplazando una inclusión del 2% de aceite) consumió diariamente 9 g más de alimento.

Por otro lado, en varios trabajos de investigación, la inclusión de glicerina en las dietas no afectó el consumo de alimento de gallinas ponedoras comerciales. La ausencia del efecto ha sido reportada cuando se utiliza la glicerina como un recurso en la formulación de dietas, como en los trabajos de Mandalawi et al. (2015), en gallinas ponedoras marrón de la semana 23 a la 50 y con inclusiones hasta el 7%, el de Boso et al (2013) con gallinas de 35 semanas de edad y con inclusiones hasta el 7.5% o en el de Swiatkiewicz y Koreleski, (2009) en gallinas marrones de la semana 28 a la 53 de edad y con inclusiones hasta el 6%. De igual manera, cuando se ha utilizado la glicerina para reemplazar el aceite en la formulación de dietas para gallinas, tampoco se ha afectado el consumo de alimento, como en el caso de Cufadar et al. (2016), en gallinas de 44 semanas de edad y reemplazando el 75% del aporte energético del aceite de soya o en el trabajo de Kanbur et al. (2017), reemplazando un subproducto de la industria de la refinación del aceite de girasol por glicerina, también al 75%. Cabe resaltar que la mayoría de los ensayos citados previamente se ejecutaron con gallinas ponedoras adultas que presumiblemente ya habían ajustado el consumo de alimento, contrario a lo evaluado en este trabajo, en donde las aves utilizadas estaban en fase de maximización del consumo de alimento, por lo que posiblemente se evidenció el efecto de la inclusión de glicerina en la dieta.

Contrariamente a lo observado en este estudio, en el ensayo desarrollado por Duarte et al. (2014), se observó una disminución lineal en el consumo de alimento, afectando principalmente a las aves de 39 semanas de edad que consumieron dietas con 6.0 o 7.5% de glicerina. En este mismo sentido, Yalcin et al. (2010), reportan que, en gallinas de 39 semanas de edad, la inclusión de glicerina cruda en niveles del 7.5% hizo que las aves consumieran 3 g menos de alimento, comparado con los otros grupos experimentales. Algunos autores mencionan que el sodio presente en la glicerina puede limitar el consumo de alimento (Guerra et al., 2011), sin embargo, en este estudio no se observaron diferencias entre las dos glicerinas evaluadas, a pesar de que la glicerina cruda registró 1.1% de sodio. Estudios en donde se comparen la alimentación de gallinas ponedoras con glicerinas de diferente calidad son escasos, sin embargo, en un ensayo de alimentación durante dos semanas, no se observó efecto de la inclusión de 1.5% de glicerina cruda o refinada en gallinas de 25 semanas de edad sobre el consumo de alimento (Olivero et al., 2014).

En un trabajo de investigación realizado con codornices ponedoras, evaluando la inclusión de glicerina cruda durante la fase de postura, se concluyó que hasta el 10% de uso de este coproducto en las dietas no afectó el consumo de alimento (Erol et al., 2009). De igual manera, y bajo un diseño similar al utilizado en este ensayo, la utilización de glicerina en la dieta de codornices durante el periodo de crecimiento en niveles de hasta el 10%, no afectó el consumo de alimento durante la fase de postura (Ghayas et al., 2017).

5.3.3 Porcentaje de postura durante la fase de producción

Similar a la respuesta observada para la variable consumo de alimento, se observó un efecto lineal ($p < 0.05$) de la inclusión de glicerina durante la fase de prepostura y prepico sobre el porcentaje de postura de gallinas ponedoras de la semana 20 a la 28 de edad (tabla 5-5). Las gallinas que consumieron dietas con altos aportes de energía proveniente de la glicerina (9%) pusieron 2.8% más ($p < 0.05$) de huevos en el primer mes y 1.3% más ($p = 0.093$) de huevos en el segundo mes comparado con las del grupo control. A partir del tercer mes de evaluación el porcentaje de postura fue similar entre los tratamientos.

Tabla 5-5: Porcentaje de postura de ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición

Aporte de EM	Glicerina	Periodo					
		1	2	3	4	5	6
0	-	26.5	92.4	97.0	97.0	95.8	93.6
3	USP	28.7	93.2	97.8	97.0	95.6	93.6
3	Cruda	26.6	91.9	96.6	96.7	94.0	95.2
6	USP	29.1	93.4	96.9	95.7	92.3	92.0
6	Cruda	28.5	92.5	96.3	96.7	94.0	91.3
9	USP	29.3	94.1	97.6	95.7	95.8	95.2
9	Cruda	29.2	92.9	97.8	97.8	96.9	94.4
EEM ¹		2.22	1.34	0.832	0.798	1.45	1.59
Efectos ²							
Nivel		*	+	NS	NS	NS	NS
Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel*Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto glicerina ³		L	L	NS	NS	NS	NS

¹ error estándar de la media; ²+: $p < 0.1$, *: < 0.05 , NS: no significativo; ³ L: lineal

Similar a lo observado en este estudio, Fontinele et al. (2017), evaluando glicerina cruda en gallinas marrón en el segundo ciclo de postura durante 12 semanas de estudio,

encontraron un efecto lineal de la inclusión de glicerina sobre el porcentaje de postura, en donde las aves alimentadas con dietas que contenían 10% de glicerina cruda pusieron 6% más huevos que las aves del grupo control. De igual manera, Boso et al. (2013), encontraron que el porcentaje de postura se incrementó linealmente con el consumo de glicerina en un rango de 1.5 a 7.5% durante 16 semanas de postura. Sin embargo, Suchy et al. (2012), cuando reemplazaron aceite de soya por glicerol puro (80% de glicerol) encontraron una disminución lineal en el porcentaje de postura de gallinas de 20 semanas de edad.

Por otra parte, algunos trabajos coinciden en concluir que el uso de este recurso no afecta el porcentaje de postura de gallinas ponedoras, cuando se hacen inclusiones menores al 7.5% (Duarte et al., 2014, en gallinas de 39 semanas de edad; Mandalawi et al., 2015, en gallinas de 23 semanas de edad; Swiatkiewicz y Koreleski, 2009, en gallinas de 28 semanas de edad; Yalcin et al., 2010 en gallinas de 39 semanas de edad). De igual manera, cuando se reemplaza hasta el 75% del aporte energético de los aceites por glicerina, no se observó efecto sobre el número de huevos puestos por ave, en gallinas de 44 semanas de edad (Cufadar et al., 2016; Kanbur et al., 2017). Similarmente, en codornices ponedoras se encontró que la utilización de dietas con inclusiones de hasta el 10% de glicerina no afectó el porcentaje de postura (Erol et al., 2009; Ghayas et al., 2017).

5.3.4 Peso y masa del huevo durante la fase de producción

El peso del huevo no se vio afectado durante los primeros seis meses de postura por el nivel o tipo de glicerina suministrada durante el periodo de transición de gallinas ponedoras marrón. La dinámica de aumento en el tamaño del huevo en este estudio se puede describir a través de la siguiente ecuación: $\text{Peso del huevo (g)} = 65.8 \text{ (Error estándar: 0.26)} - 1509.8 \text{ (Error estándar: 245.5)} * 0.812 \text{ (0.006)} \text{ tiempo (semanas)}$, $R^2: 0.84$.

De igual manera, la distribución de huevos en las diferentes categorías no fue afectada por los tratamientos experimentales y el promedio, durante las 24 semanas de evaluación, fue: Jumbo: 3.3%, AAA: 24.1%, AA: 29.5%, A: 17.5%, B: 15.4, C: 8.0 y rotos: 2.2%. Por otro lado, la masa del huevo (peso del huevo * postura/100) fue 4.7% mayor ($p=0.087$) en el

grupo de aves alimentadas con la mayor inclusión de glicerina (independiente de la fuente), comparado con el grupo control, durante el primer periodo de postura (tabla 5-6).

Tabla 5-6: Masa del huevo (g) de gallinas ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición

Aporte de EM	Glicerina	Periodo					
		1	2	3	4	5	6
0	-	13.4	53.6	60.9	61.8	62.1	61.0
3	USP	14.1	53.9	61.6	61.5	61.8	61.1
3	Cruda	13.5	54.2	60.1	61.8	63.9	62.3
6	USP	14.4	54.3	61.6	61.6	60.2	60.1
6	Cruda	14.3	54.3	61.6	62.6	61.3	59.7
9	USP	14.1	53.4	61.4	60.7	62.1	62.3
9	Cruda	14.2	53.7	61.6	62.4	62.7	61.4
EEM ¹		1.42	1.20	0.971	1.02	1.02	0.362
Efectos ²							
Nivel		+	NS	NS	NS	NS	NS
Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel*Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto glicerina ³		L	NS	NS	NS	NS	NS

¹ error estándar de la media; ² +:p<0.1, NS: no significativo; ³ L: lineal

La respuesta en el tamaño del huevo a la inclusión de glicerina en las dietas es contradictoria. Boso et al. (2013), reportan una respuesta cuadrática en el peso del huevo, con un mínimo estimado de esta variable al incluir 4.9% de glicerina. Sin embargo, Fontinele et al. (2017), reportan un efecto lineal positivo de la inclusión de glicerina en las dietas sobre la masa del huevo en gallinas marrón de 90 semanas de edad, asociado a un mayor consumo de alimento. La mayoría de los estudios concluyen que esta variable no es afectada por la inclusión de glicerina en la dieta, como recurso en la formulación (Duarte et al., 2014; Mandalawi et al., 2015; Swiatkiewicz y Koreleski, 2009; Yalcin et al., 2010) o reemplazando un aceite vegetal (Cufadar et al., 2016; Kanbur et al., 2017).

5.3.5 Conversión alimenticia durante la fase de producción

La conversión alimenticia por docena de huevo del primer mes de postura fue linealmente afectada (p<0.05) por el consumo de glicerina durante el periodo de transición (tabla 5-7). Las gallinas alimentadas con las dietas que tenían la mayor inclusión de glicerina (USP o

cruda) registraron una mejor ($p=0.0889$) eficiencia alimenticia (-1.59 Kg de alimento/docena de huevos) comparado con las aves del tratamiento control.

Tabla 5-7: Conversión alimenticia (kg alimento/docena de huevos) de ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición

Aporte de EM	Glicerina	Periodo					
		1	2	3	4	5	6
0	-	4.69	1.48	1.45	1.48	1.49	1.53
3	USP	4.43	1.49	1.46	1.46	1.49	1.52
3	Cruda	4.88	1.51	1.44	1.44	1.42	1.48
6	USP	4.43	1.49	1.45	1.47	1.52	1.52
6	Cruda	4.53	1.50	1.46	1.44	1.49	1.55
9	USP	4.45	1.51	1.44	1.47	1.48	1.48
9	Cruda	4.34	1.53	1.44	1.43	1.45	1.50
EEM ¹		0.511	0.0112	0.0189	0.0197	0.0302	0.0301
Efectos ²							
Nivel		+	NS	NS	NS	NS	NS
Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel*Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto glicerina ³		L	NS	NS	NS	NS	NS

¹ error estándar de la media; ² +: $p < 0.1$, NS: no significativo; ³ L: lineal

El efecto del consumo de glicerina sobre la conversión alimenticia puede estar asociado a las respuestas de otras variables productivas. En ese sentido, Duarte et al. (2014), reportan una respuesta cuadrática en la conversión alimenticia masal (kg/kg), con un mínimo para una inclusión de 3.0% de glicerina, relacionado con un menor consumo observado. Sin embargo, Mandalawi et al. (2015), encontraron que la utilización de 7% de glicerina cruda en gallinas ponedoras marrón de la semana 23 a la 50 de edad, afectó negativamente la conversión alimenticia masal, respuesta que se asocia a la baja absorción de glicerol o subestimación del valor de energía del maíz (que tenía mayor inclusión en la dieta control). De igual manera, Nemeth et al. (2013), durante un ensayo de balance que buscaba determinar el valor de EMAn de la glicerina cruda, observaron una mayor conversión alimenticia al incluir 10% de glicerina en la dieta.

Algunos autores indican que la eficiencia de uso del alimento no es afectada por la inclusión de glicerina en las dietas. En este sentido, Fontinele et al. (2017), mencionan que el aumento en la postura y masa del huevo se correlacionaron con el consumo de alimento,

lo que se tradujo en una conversión alimenticia similar. Además, Swiatkiewicz y Koreleski (2009), utilizando 2, 4 y 6% de glicerina de aceite de colza no encontraron efecto sobre ninguna variable de desempeño, lo que también se reflejó en la conversión alimenticia. Finalmente, en el trabajo de Yalcin et al. (2010), a pesar de que las aves alimentadas con 7,5% consumieron menor cantidad de alimento, reportaron una eficiencia alimenticia similar a la del grupo control.

5.3.6 Calidad del huevo

Debido a que no se observaron diferencias significativas en el muestreo de calidad del huevo de la semana 35, solo se presentan los resultados correspondientes al muestreo de la semana 25 (tabla 5-8). El grosor de la cáscara presentó una tendencia lineal ($p < 0.05$) frente al consumo de glicerina durante la fase de transición. La altura de la albúmina de los huevos de gallinas que consumieron glicerina USP fue mayor ($p < 0.05$) comparado con las de aquellas que consumieron glicerina cruda (+0.72). Además, se observó una tendencia lineal ($p < 0.05$) del consumo de glicerina sobre la altura de la albúmina.

Tabla 5-8: Características de huevos de ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición

Aporte de EM	Glicerina	Grosor de la cáscara (mm)	Color de la yema	Altura de la albúmina (mm)	Unidades Haugh
0	-	0.391	12.5	6.11	90
3	USP	0.419	12.5	6.42	91
3	Cruda	0.403	12.0	6.03	90
6	USP	0.441	12.3	6.62	93
6	Cruda	0.412	12.2	5.89	89
9	USP	0.421	11.3	6.87	94
9	Cruda	0.428	12.0	5.82	88
EEM ¹		0.0145	0.370	0.311	1.72
Efectos ²					
Nivel		NS	NS	NS	NS
Glicerina		NS	NS	*	*
Nivel*Glicerina		NS	NS	NS	NS
Efecto glicerina ³		L	NS	L	L

¹ error estándar de la media; ² *: <0.05, NS: no significativo; ³ L: lineal

Los reportes de la literatura indican que las características de los componentes estructurales del huevo no son afectadas por los niveles de inclusión de glicerina en las

dietas, independiente de la edad de las aves, como lo reporta Fontinele et al. (2017), en gallinas marrón de 90 semanas de edad, Cufadar et al. (2016), en gallinas ponedoras de 44 semanas de edad, Duarte et al. (2014), en gallinas de 39 semanas de edad, Boso et al. (2013), en gallinas de 35 semanas de edad, Swiatkiewicz y Koreleski (2009), en gallinas marrones de 28 semanas de edad o Mandalawi et al. (2015), en gallinas ponedoras marrón de 23 semanas de edad. De igual manera, la utilización de dietas con inclusiones de hasta el 10% de glicerina no afectó el espesor de la cáscara ni la calidad de la yema de los huevos de codornices ponedoras (Erol et al., 2009; Ghayas et al., 2017). Sin embargo, en el trabajo de Ghayas et al. (2017), el puntaje en unidades Haugh fue mayor en huevos de las aves que consumieron dietas con 5% o 7.5%, mientras que Erol et al. (2009), encontraron que los huevos de las aves alimentadas con 10% de glicerina exhibieron menor altura de la albúmina y un puntaje menor en unidades Haugh respecto a los otros tratamientos.

5.3.7 Características de las nidadas y pausas hasta la semana 42 de edad

En la tabla 5-9 se presentan los resultados del seguimiento individual reproductivo de gallinas ponedoras marrón, hasta la semana 42 de postura, que recibieron glicerina durante la fase de transición. Se observó una tendencia lineal en el tiempo al inicio de la postura ($p=0.084$), siendo menor en la medida en que las aves consumieron más glicerina durante la fase de transición. Por otro lado, las aves que consumieron dietas que aportaron el 9% de energía proveniente de la glicerina, pusieron hasta la semana 42, 4.5 huevos más ($p<0.05$) y pausaron en promedio 0.5 días menos, que las del grupo control. Además, este tratamiento presentó un tamaño mayor de la nidada ($p=0.095$) respecto al tratamiento al que se le incluyó 6% de energía proveniente de la glicerina. Finalmente, éste último tratamiento tuvo un mayor ($p=0.075$) número de nidadas (+1.8) y de pausas (+2.4) comparado con las aves del grupo control.

Tabla 5-9: Características de las nidadas y pausas hasta la semana 42 de gallinas de ponedoras marrón alimentadas con diferentes niveles de glicerina cruda o USP durante el periodo de transición

Aporte de EM	Glicerina	Inicio de postura (s)	HAA ¹ hasta 42S	Máxima nidada (huevos)	Tamaño de nidada (huevos)	No. de nidadas	Tamaño de pausa (d)	No. de pausas
0	-	21.9	132	80.9	26.1	5.2	1.58	5.5
3	USP	21.7	134	70.3	21.9	6.5	1.16	7.1
3	Cruda	21.7	134	70.4	24.9	5.6	1.14	6.2
6	USP	21.5	133	66.8	19.9	7.0	1.20	8.2
6	Cruda	21.5	135	74.2	19.9	7.0	1.17	7.6
9	USP	21.4	136	87.3	24.4	5.9	1.11	6.6
9	Cruda	21.5	137	79.9	31.4	5.0	1.04	5.3
EEM ²		0.211	1.42	11.4	3.21	3.18	0.151	0.727
Efectos ³								
Nivel		NS	*	NS	+	+	*	*
Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nivel*Glicerina		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Efecto glicerina ⁴		L (+)	L	C	C	C	L	C

¹ HAA: Huevos por ave alojada hasta la semana 42 de edad; ² Error estándar de la media; ³ +: p<0.1, *: <0.05, NS: no significativo; ⁴ L: lineal, C: cuadrática

En gallinas ponedoras son deseables tamaños grandes de nidadas, ya que es un indicativo del potencial genético de las aves y de la eficiencia productiva del animal (Samiullah et al., 2016). Zerjal et al. (2013), mencionan que aves con mejor adaptación y expresión productiva tienden a tener un mayor tamaño de las nidadas, lo que afecta positivamente la cantidad total de huevos puestos. En el trabajo de Bednarczyk et al. (2000), en donde se evaluó el desempeño de gallinas de la generación del 96/97, hasta la semana 38 de edad, se observan valores, que ajustados a la postura faltante, son similares a los observados en este estudio, en términos de huevos por ave alojada (113), sin embargo, el número y el tamaño de las nidadas es superior (9.5 y 16.5, respectivamente), mientras que la máxima nidada tiende a ser inferior (42.4). Por otro lado, Roy et al. (2014), presentaron los siguientes valores hasta la semana 40, para una línea de gallinas Leghorn desarrollada en la India: 11.1 para tamaño de la nidada, 12.7 para número de nidadas, 38.1 para la máxima nidada y 2.2 el promedio de duración de la pausa, valores que son inferiores a los reportados en este trabajo.

En codornices, Erensayin y Camci (2003), reportaron una correlación significativa entre el número de nidadas y la producción de huevos ave día (-0.438, p<0.001), esta relación en el presente trabajo mantuvo la misma tendencia y fue significativa (-0.506, p<0.001), es

decir, a mayor número de nidadas menor número de huevos acumulados. Por otro lado, en este trabajo la correlación entre el tamaño de la pausa y el número de huevos por ave alojada fue de -0.515 ($p < 0.001$), lo que pudo incidir para que el total de huevos puestos fuera mayor en el grupo de aves alimentadas con la mayor inclusión de glicerina. Alkan et al. (2013), reportan una correlación de -0.976 , ($p < 0.001$) entre estas variables, lo que evidencia el impacto de la duración del descanso sobre el desempeño de las aves. Además, Mutayoba et al. (2012), evaluando gallinas criollas, encontraron que una adecuada suplementación no afectó el número de huevos por nidada, pero disminuyó en 71% el tiempo de las pausas, lo que afectó el número total de huevos por año.

En este trabajo las aves llegaron a la madurez sexual a una edad que varió entre 21.4 y 21.9 semanas, este resultado es menor en 1.5 semanas a lo reportado por Alemayehu y Sisay (2017). Adicionalmente, la correlación entre la edad a la madurez sexual y el número total de huevos por gallina fue de -0.547 ($p < 0.05$), lo que explica parcialmente las tendencias observadas para estas dos variables con relación a la inclusión de glicerina, esta relación de alta magnitud también se ha observado en codornices (-0.648 , $p < 0.001$; Alkan et al., 2013).

Conclusiones

La inclusión de glicerina (USP o cruda) en las dietas de prepostura, con la intención de aportar 9% de EM, permitió que las gallinas ponedoras consumieran más alimento ($+1.5$ g/ave/d), ganaran más peso corporal (1.1 g/ave/d) y fueran más homogéneas, comparadas con aquellas que consumieron dietas sin glicerina, lo que permitiría nivelar el peso de un lote antes del inicio de la postura.

La inclusión de glicerina en las dietas durante el periodo de transición tuvo un efecto sobre la respuesta productiva de las aves en los dos primeros meses de postura, beneficiando a aquellas aves que recibieron el mayor aporte de energía de la glicerina a través de un mayor consumo ($+2.9$ g/ave/d), mayor postura ($+7.5\%$) sin afectar la evaluación física de los huevos.

La inclusión de glicerina en las dietas tiende a disminuir linealmente el tiempo al inicio de postura. Además, las aves que consumieron alimento con una inclusión de glicerina que aportaba el 9% de la EM de la dieta descansaron menos (-0.5 días/pausa) y registraron un mayor número de huevos hasta la semana 42 (+4.5 huevos/ave).

6. Capítulo 6. Glicerina cruda y densidad energética de las dietas de recría, prepostura y prepico de ponedoras marrón en condiciones de altitud

Resumen

En este estudio se evaluó el efecto de la inclusión de glicerina cruda y dos concentraciones de energía metabolizable, desde la semana 13 de edad hasta el 50% de postura, sobre la respuesta productiva de gallinas ponedoras hasta la semana 40 de edad. Se utilizaron 320 pollitas de 13 semanas de edad de la estirpe Backcob Brown (8 repeticiones por tratamiento), clasificadas según el peso corporal. Los tratamientos fueron constituidos por cuatro niveles de inclusión de glicerina cruda, 0, 3, 6 o 9% y dos niveles de EMAn de las dietas, baja (2750 kcal de EMAn/kg en recría y prepico y 2800 kcal en prepostura) y alta (2850 kcal de EMAn/kg en recría y prepico y 2900 kcal en prepostura). Todas las aves recibieron la dieta control después del 50% de postura. Durante el ensayo se recolectó información del consumo, el porcentaje de postura, el peso y masa del huevo y la conversión alimenticia. Además, se evaluó el grosor de la cáscara, el color de la yema y la altura de la albúmina. La información se analizó a través de diseño completamente al azar con un arreglo factorial 4x2, utilizando el peso inicial como una covariable. Durante la etapa de recría las aves que recibieron dietas bajas en energía consumieron 1.6 g/a/d más ($p<0.05$) de alimento, ganaron 0.4 g/a/d menos ($p<0.05$) de peso corporal y registraron una menor ($p<0.05$) conversión alimenticia. Además, se observó un efecto lineal positivo ($p<0.05$) de la inclusión de glicerina sobre la conversión alimenticia y la ganancia de peso, lo que afectó el peso corporal a la semana 19 de edad. De la semana 17 a la 19 de edad las aves alimentadas con dietas bajas en energía consumieron 2.6 g/a/d más ($p<0.05$) de alimento. Durante la fase inicial de postura, se observó que las aves alimentadas con dietas bajas en energía consumieron 2.4 g/a/d más ($p<0.05$) alimento, pusieron huevos que

pesaban 0.8 g menos ($p < 0.05$) y registraron 0.03 kg/docena más ($p = 0.072$) de conversión alimenticia. Además, durante el mismo periodo se observó un efecto lineal ($p < 0.05$) negativo de la inclusión de glicerina cruda sobre la ganancia de peso de las aves y una tendencia lineal ($p < 0.05$) positiva en el porcentaje de postura y consumo de alimento. Después del pico de postura, las gallinas de los grupos de baja energía consumieron 1.6 g de alimento más ($p < 0.05$) y pusieron 0.9% más huevos que sus contrapartes. Por otro lado, el peso a la semana 13 de edad afectó ($p < 0.05$) el desempeño productivo de las gallinas ponedoras hasta la semana 40 de edad. Finalmente, la utilidad bruta tendió a ser mayor ($p = 0.0976$) en las aves alimentadas con dietas altas en energía, debido a que el costo por alimentación fue menor ($p < 0.05$) y los ingresos tendieron a mejorar ($p = 0.0981$) con la inclusión de glicerina cruda. En conclusión, la utilización de dietas altas en energía disminuye el consumo de alimento y el peso y porcentaje de huevos, pero mejora la utilidad bruta; la formulación de dietas con glicerina incrementa el consumo de alimento y el desempeño productivo, resultando en el aumento de los ingresos totales.

Palabras claves: consumo de alimento, conversión alimenticia, dietas de transición, porcentaje de postura

Abstract

In this study, the effect of the inclusion of crude glycerin and two concentrations of metabolizable energy, from week 13 of age to 50% of posture, on the productive response of laying hens until week 40 of age was evaluated. A total of 320 13-week-old Backcob Brown pullets were weighed and randomly allocated to 8 replicates per treatment. The treatments were constituted by four levels of inclusion of crude glycerin, 0, 3, 6 or 9% and two levels of AMEn of the diets, low (2750 kcal of AMEn/kg in growing and pre-peak, and 2800 kcal in pre-lay) and high (2850 kcal AMEn/kg in growing and pre-peak and 2900 kcal in pre-lay). All birds received the control diet after 50% posture. During the study, information on consumption, egg production, egg weight, egg mass, and feed conversion was collected. In addition, shell thickness, color of yolk, and height of albumin were evaluated. The information was analyzed through completely random design with a 4x2 factorial arrangement, using the initial weight as a covariate. During the growing stage birds that received low energy diets consumed 1.6 g/d more feed ($p < 0.05$), gained 0.4 g/d less body weight ($p < 0.05$) and recorded lower feed conversion ($p < 0.05$). In addition, a positive linear effect ($p < 0.05$) of the inclusion of glycerin on feed conversion and weight gain was

observed, which affected body weight at week 19 of age. From week 17 to 19, birds fed low-energy diets consumed 2.6 g/d more feed ($p < 0.05$). During the initial laying phase, it was observed that birds fed low-energy diets consumed 2.4 g/d more feed ($p < 0.05$), laid eggs that weighed 0.8 g less ($p < 0.05$) and registered 0.03 kg/dozen more feed conversion ($p = 0.072$). In addition, during the same period a negative linear effect ($p < 0.05$) of the inclusion of crude glycerin on the weight gain of the birds was observed and a positive linear effect ($p < 0.05$) in the percentage of posture and feed consumption. After posture peak, the hens of the low energy groups consumed 1.6 g/d more feed ($p < 0.05$) and lay 0.9% more eggs compared to the other groups. On the other hand, the weight at week 13 of age affected ($p < 0.05$) the productive performance of laying hens until week 40 of age. Finally, gross income tended to be higher ($p = 0.0976$) in birds fed high energy diets, because the cost per feeding was lower ($p < 0.05$) and the income tended to improve ($p = 0.0981$) with the inclusion of crude glycerin. In conclusion, the use of high energy diets decreases the consumption of feed and the weight and egg production but improves gross income; glycerin in the formulation of balanced diets increases the consumption of feed and the productive performance, resulting in the increase of total income.

Key words: feed intake, feed conversion, transitional diets, egg production

6.1 Introducción

La producción de huevos ha tenido un crecimiento acelerado en los últimos años (Alexandratos y Bruinsma, 2012) y un aumento significativo en el consumo, pasando de 8.1 kg en el 2000 a 8.9 kg en el 2009 (FAOSTAT), y un estimativo de 8.9 y 13.8 kg en países en desarrollo e industrializados para el año 2030, respectivamente (Bruisma, 2003). El crecimiento en el consumo se asocia al alto valor nutricional y bajo precio de este alimento (Zaheer, 2015). La anterior situación hace que los sistemas de alimentación de las aves se tengan que actualizar constantemente, ya que la rentabilidad del sector avícola esta correlacionada con el precio de la dieta (Altahat et al., 2012). De esta manera, el diseño de estrategias de alimentación que permitan disminuir los costos de producción sin alterar el desempeño productivo de las estirpes actuales es una prioridad para el sector avícola.

En gallinas ponedoras, el periodo alrededor del inicio de la postura constituye un momento importante para el posterior desempeño productivo del ave (Sujatha y Rajini, 2015). De dos a tres semanas antes de la puesta del primer huevo, se observa un aumento significativo en la ganancia de peso de la ponedora que busca acumular reservas corporales para sostener la producción y el tamaño del huevo durante el ciclo de postura (Summers, 1993). Además, hacia el final del periodo de crecimiento se observa un rápido desarrollo del ovario y el oviducto y un aumento en el tamaño del hígado (Sujatha et al., 2014). Es por ello por lo que el manejo nutricional y los programas de iluminación, previos al inicio de la postura, son determinantes de la madurez sexual y la respuesta productiva de la ponedora (de Beer y Coon, 2007; Gous, 2014). Como menciona Leeson y Summers (2000), un manejo nutricional exitoso conlleva a la maximización del peso corporal de la pollita, ya que las aves que llegan al blanco de peso o están ligeramente por arriba al momento del inicio de la postura tienen una mayor producción de huevos. Desde el punto de vista nutricional se deben considerar en esta etapa el adecuado aporte de energía y proteína en la dieta, lo cual permitirá la correcta acumulación de reservas corporales (Cankaya et al., 2008), y la estimulación del apetito, para aumentar la capacidad de consumo del alimento por parte del animal (Leeson y Summers, 2000; Lazaro y Mateos, 2008).

La concentración de energía de las dietas afecta el desempeño productivo tanto de las pollitas en crecimiento como de las gallinas ponedoras (Saldaña et al., 2015; Pérez-Bonilla et al., 2012). A nivel general, se reconoce que la energía es uno de los principales factores nutricionales que controlan el consumo de alimento y contribuye de manera importante en el costo de la dieta (Classen, 2017). La literatura sugiere que las aves consumen para satisfacer los requerimientos de energía (Fisher & Wilson, 1974), por lo cual, se espera que el consumo sea mayor cuando se ofrecen dietas bajas en energía y menor cuando se usan dietas concentradas en energía (Harms et al., 2000; Veldkamp et al., 2005; Wu et al., 2005). El anterior enfoque ha sido cuestionado ya que ciertas estirpes de gallinas ponedoras no logran ajustar el consumo, lo que origina respuestas que no son uniformes ni predecibles (Classen, 2017). La anterior tendencia se ha observado en líneas genéticas modernas que han sido sometidas a procesos de selección para disminuir el consumo y aumentar la eficiencia alimenticia (Jalal et al., 2007), resultando en la limitada capacidad para incrementar el consumo cuando se usan dietas bajas en energía (van Krimpen et al.,

2007), situación que se podría poner de manifiesto y afectar el retorno económico de la empresa avícola si, debido al costo de las materias primas, se privilegia la elaboración de dietas bajas en energía y las aves deben sacrificar la postura o el tamaño del huevo por la limitada ingesta energética (dePersio et al., 2015). Por otro lado, es necesario evaluar económicamente la compensación en la eficiencia alimenticia que se logra al usar dietas altas en energía (Leeson y Summers, 2009).

En el 2011 la producción de glicerina proveniente de la industria del biodiesel llegó a más de 2 millones de toneladas (Ciriminna et al., 2014), lo que ha hecho que disminuya el precio de este coproducto en el mercado (Yang et al., 2012) y ha abierto la posibilidad para que se use como recurso alternativo en sistemas de alimentación animal (Beserra et al., 2016; Makkar, 2012; Silva et al., 2014; Vongsamphanh et al., 2017). El glicerol, principal componente de la glicerina, es una molécula que tiene una rápida absorción a nivel intestinal (Kato et al., 2004) y debido al bajo incremento calórico que genera, posee un alto valor de energía neta o efectiva (AVINESP, 2014). La glicerina ha sido evaluada en dietas para pollos de engorde (Mandalawi et al., 2014; Romano et al., 2014), codornices (Pasquetti et al., 2014) y gallinas ponedoras (Swiatkiewicz y Koleriski, 2009) con resultados satisfactorios. Al respecto, en gallinas ponedoras se han utilizado en niveles hasta del 15%, durante periodos cortos (Lammers et al., 2008; Nemeth et al., 2013) o hasta el 7.5% durante varias semanas del ciclo de postura (Boso et al., 2013; Cufadar et al., 2016).

Con la hipótesis de que el consumo de glicerina durante la etapa de transición en dietas bajas en energía puede estimular el consumo de alimento y mejorar el crecimiento durante la última fase del periodo de levante y así mejorar la producción durante la postura, se propuso este estudio que tiene por objetivo evaluar el efecto de la inclusión de glicerina cruda en dietas con diferentes valores de energía metabolizable durante las fases de recría (semana 14 a la 16), prepostura (semana 17 hasta el 5% de postura) y prepico (desde el 5% y hasta el 50% de postura) sobre el desempeño productivo de gallinas ponedoras marrón hasta la semana 40 de edad en condiciones de altitud.

6.2 Materiales y Métodos

6.2.1 Unidades experimentales

Para este estudio se seleccionaron 320 pollitas de la estirpe Backcob Brown, de 13 semanas de edad, provenientes de un lote comercial, que fueron distribuidas de acuerdo con el peso para constituir unidades experimentales homogéneas. Las aves fueron ubicadas individualmente en jaulas de baterías de dos niveles, dotada cada una con un bebedero automático de niple y comedero lateral de canal. Cinco pollitas que compartieron un mismo comedero y estaban separadas de las demás, fueron consideradas la unidad experimental (8 por tratamiento).

6.2.2 Aval de Comité de Bioética

Los protocolos de manejo animal fueron avalados por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá (acta 05).

6.2.3 Ubicación

Este estudio se realizó en la Unidad de Avicultura del CI Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Agrosavia, ubicada en el municipio de Mosquera, departamento de Cundinamarca, que presenta temperatura media de 14 °C, humedad relativa del 76% y se localiza a 2516 msnm (4.685222 -74.204722).

6.2.4 Glicerina utilizada

Se utilizó glicerina proveniente de una planta de producción de biodiesel de aceite de palma. La composición de la glicerina cruda fue la siguiente: 3547 kcal/kg de EB, 8.21% de humedad, 84.2% de glicerol, 4.52% de cenizas, 1.73% de sodio y 19.7 ppm de metanol. Para la formulación de las dietas se utilizó un valor de 3050 kcal de EMAn/kg

(metabolicidad del 86%) obtenido en un bioensayo de balance previo realizado en condiciones similares de manejo.

6.2.5 Dietas experimentales

Durante cada fase de alimentación se evaluaron cuatro niveles de inclusión de glicerina cruda (0, 3, 6 y 9%) y dos niveles de EMAn de las dietas (bajo, con 2750 kcal de EMAn/kg en recría y prepico y 2800 kcal en prepostura, y alto, con 2850 kcal de EMAn/kg en recría y prepico y 2900 kcal en prepostura). Se manejó un sistema de alimentación por fases, considerando la recría de la semana 14 a la semana 16, prepostura de la semana 17 y hasta el 5% de postura y prepico, desde el 5% hasta el 50% de postura de cada repetición. El uso de ingredientes y el perfil nutricional calculado de las diferentes dietas utilizadas en el estudio se presenta en las tablas 6-1, 6-2 y 6-3. Una vez cada repetición experimental llegó al 50% de postura comenzaron a recibir alimento para pico de producción (17.5%, 3.8% de Ca), sin glicerina, hasta la semana 40 de edad.

Tabla 6-1: Ingredientes y composición nutricional de las dietas experimentales de la fase de recría (g/kg en base fresca)

Ingredientes	2750 kcal de EMAn/kg				2850 kcal de EMAn/kg			
	0%	3%	6%	9%	0%	3%	6%	9%
Maíz	483	442	408	370	448	416	383	350
Glicerina Cruda	0	30	60	90	0	30	60	90
Salvado trigo	170	170	170	170	170	170	170	170
Harina arroz	120	120	120	120	120	120	120	120
Soya cocida	0	0	0	0	60	60	60	60
Torta soya-49	186	192	198	204	145	147	153	153
Harina de pescado	0	0	0	0	1	4	2	5
Aceite de soya	3	6	6	8	15	15	15	15
Sal común	3	3	3	3	3	3	3	3
Bicarbonato de Na	3	5	3	3	4	3	3	3
Carbonato de Ca	10	9	9	9	9	9	9	9
Fosfato tricálcico	10	11	11	12	10	10	11	10
DL-Metionina	2	2	2	2	2	2	2	2
Cl. Colina 60%	7	7	7	7	7	7	7	7
Premezcla vit-min ¹	3	3	3	3	3	3	3	3
Análisis Calculado								
EM (Mcal/Kg)	2750	2750	2750	2750	2850	2852	2850	2850
Proteína (%)	16.5	16.5	16.5	16.5	16.6	16.7	16.5	16.5
EE (%)	3.4	3.4	3.4	3.5	5.4	5.4	5.3	5.3

Tabla 6-1: (Continuación)

FC (%)	4.8	4.8	4.8	4.7	4.9	4.9	4.8	4.8
Calcio (%)	0.90	0.90	0.90	0.90	0.88	0.89	0.90	0.90
P-disponible (%)	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
P-digestible (%)	0.43	0.43	0.44	0.44	0.42	0.42	0.43	0.43
BED (mEq/Kg)	270	270	250	250	259	248	250	250
Lisina digestible (%)	0.72	0.73	0.74	0.74	0.73	0.76	0.74	0.75
Met+Cis dig. (%)	0.59	0.59	0.60	0.60	0.59	0.63	0.60	0.63
Precio dieta (\$/kg)	991	991	985	984	1025	1024	1018	1012

¹ Premezcla de vitaminas y minerales (aporte por kilogramo de dieta): vitamina A, 7500 IU; vitamina D3, 1900 IU; vitamina E, 28 IU; vitamina K3, 1.5 mg; tiamina, 2.0 mg; riboflavina, 5.0 mg; niacina, 30 mg; ácido pantoténico, 10 mg; piridoxina, 2.8 mg; biotina, 0.01 mg; ácido fólico, 0.7 mg; vitamina B12, 0.01 mg; colina, 10 mg; Zn, 65 mg; Mn, 70 mg; Fe, 50 mg; Cu, 10 mg; I, 1.0 mg; Se, 0.3 mg.

Tabla 6-2: Ingredientes y composición nutricional de las dietas experimentales de la fase de prepostura (g/kg en base fresca)

Ingredientes	2800 kcal de EMAn/kg				2900 kcal de EMAn/kg			
	0%	3%	6%	9%	0%	3%	6%	9%
Maíz	464	440	403	365	475	440	438	405
Glicerina Cruda	0	30	60	90	0	30	60	90
Salvado trigo	190	190	190	190	170	169	139	135
Harina arroz	25	0	0	0	0	5	0	0
Soya cocida	100	100	100	100	130	130	125	125
Torta soya-49	123	140	146	152	118	118	135	140
Harina de pescado	10	10	10	10	10	10	10	10
Aceite de soya	12	15	16	18	22	22	17	18
Sal común	3	3	3	3	3	3	3	3
Bicarbonato de Na	4	3	3	3	4	6	4	4
Carbonato de Ca	51	51	50	50	51	50	51	51
Fosfato tricálcico	10	11	12	12	11	10	11	11
DL-Metionina	3	3	3	3	2	3	3	3
L-Lisina HCl	1	0	0	0	0	0	0	0
L- Treonina	1	0	1	1	0	1	1	1
Cl. Colina 60%	1	1	1	1	1	1	1	1
Premezcla vit-min ¹	3	3	3	3	3	3	3	3
Análisis Calculado								
EM (Mcal/Kg)	2800	2800	2800	2800	2900	2900	2900	2900
Proteína (%)	16.9	17.1	17.1	17.1	17.1	16.9	17.0	17.0
EE (%)	4.8	4.6	4.7	4.8	6.0	6.1	5.4	5.4
FC (%)	4.4	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1	3.8	3.7
Calcio (%)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
P-disponible (%)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.41	0.40
P-digestible (%)	0.39	0.40	0.41	0.41	0.39	0.38	0.38	0.38
BED (mEq/Kg)	252	250	250	250	250	260	251	250

Tabla 6-2: (Continuación)

Lisina digestible (%)	0.80	0.79	0.79	0.79	0.77	0.79	0.80	0.82
Met+Cis dig. (%)	0.73	0.71	0.71	0.72	0.70	0.72	0.73	0.75
Precio dieta (\$/kg)	1024	1021	1019	1017	1049	1041	1041	1042

¹ Premezcla de vitaminas y minerales (aporte por kilogramo de dieta): vitamina A, 7500 IU; vitamina D3, 1900 IU; vitamina E, 28 IU; vitamina K3, 1.5 mg; tiamina, 2.0 mg; riboflavina, 5.0 mg; niacina, 30 mg; ácido pantoténico, 10 mg; piridoxina, 2.8 mg; biotina, 0.01 mg; ácido fólico, 0.7 mg; vitamina B12, 0.01 mg; colina, 10 mg; Zn, 65 mg; Mn, 70 mg; Fe, 50 mg; Cu, 10 mg; I, 1.0 mg; Se, 0.3 mg.

Tabla 6-3: Ingredientes y composición nutricional de las dietas experimentales de la fase de prepico (g/kg en base fresca)

Ingredientes	2750 kcal de EMAn/kg				2850 kcal de EMAn/kg			
	0%	3%	6%	9%	0%	3%	6%	9%
Maíz	460	401	364	327	423	389	357	323
Glicerina Cruda	0	30	60	90	0	30	60	90
Salvado trigo	169	190	190	190	190	190	190	190
Soya cocida	120	120	120	120	140	140	140	140
Torta soya-49	138	141	147	152	99	111	108	109
Harina de pescado	0	0	0	0	18	12	18	20
Aceite de soya	13	18	20	21	30	30	30	30
Sal común	3	3	3	3	3	3	3	3
Bicarbonato de Na	2	2	2	1	3	2	2	2
Carbonato de Ca	80	80	80	79	80	80	80	80
Fosfato tricálcico	8	8	9	9	5	6	6	6
DL-Metionina	3	3	3	3	3	3	3	3
L-Lisina HCl	0	0	0	0	0	0	0	1
L- Treonina	1	1	1	1	1	1	1	1
Cl. Colina 60%	1	1	1	1	1	1	1	1
Premezcla vit-min ¹	3	3	3	3	3	3	3	3
Análisis Calculado								
EM (Mcal/Kg)	2750	2750	2750	2750	2850	2850	2850	2850
Proteína (%)	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
EE (%)	4.8	5.3	5.4	5.5	7.0	6.9	6.9	6.8
FC (%)	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1	4.0
Calcio (%)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
P-disponible (%)	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
P-digestible (%)	0.33	0.35	0.35	0.35	0.31	0.32	0.32	0.32
BED (mEq/Kg)	230	230	230	230	240	230	230	230
Lisina digestible (%)	0.78	0.78	0.79	0.80	0.78	0.79	0.80	0.82
Met+Cis dig. (%)	0.71	0.71	0.72	0.73	0.71	0.72	0.73	0.74
Precio dieta (\$/kg)	1014	1010	1009	1002	1047	1038	1038	1038

¹ Premezcla de vitaminas y minerales (aporte por kilogramo de dieta): vitamina A, 7500 IU; vitamina D3, 2000 IU; vitamina E, 10 IU; vitamina K3, 1.8 mg; tiamina, 1.8 mg; riboflavina, 4.0 mg; niacina, 25 mg; ácido pantoténico, 10 mg; piridoxina, 1.7 mg; biotina, 0.1 mg; ácido fólico, 0.5 mg; vitamina B12, 0.01 mg; colina, 12 mg; Zn, 72 mg; Mn, 77 mg; Fe, 55 mg; Cu, 11 mg; I, 1.1 mg; Se, 0.33 mg

6.2.6 Protocolo experimental

Durante el estudio se registró semanalmente el residual del alimento para calcular el consumo promedio de cada repetición. Además, semanalmente se pesaron las aves hasta la semana 24 y quincenalmente hasta la semana 30 de edad, para determinar la ganancia de peso y conversión alimenticia. Durante la fase de postura, diariamente, a la misma hora (11:00 AM), se recogieron los huevos de cada repetición y al final de la semana se totalizaron, pesaron y clasificaron para calcular la conversión alimenticia por docena y el porcentaje de postura. Además, se llevó el registro individual de cada gallina hasta la semana 40 de edad, en el que se contabilizó el inicio de la postura, el número de huevos consecutivos puestos y los tiempos de pausa entre cada nidada.

Finalmente, a la semana 25 y 35 de edad se seleccionaron dos huevos de tamaño AA de cada repetición para evaluar el grosor de la cáscara (micrómetro marca Ames, modelo 25-5), el color de la yema (escala roche) y la altura de la albúmina (micrómetro marca Ames, modelo S-8400). Además, se calculó las unidades Haugh ($100 \cdot \log(\text{altura de la albúmina} - 1.7 \cdot (\text{peso del huevo}^{0.37}) + 7.6))$ como indicador de la calidad del huevo.

Con los resultados semanales de conversión alimenticia por docena de huevos de cada repetición, y el precio y tiempo de uso de las dietas de recria, prepostura y prepico, se calculó el costo por alimentación de la semana 20 a la 28 de edad. Posteriormente, con el precio de la dieta de pico, se calculó el costo de alimentación de la semana 29 a la 40 de edad. Por otro lado, con la distribución semanal de huevos en las diferentes categorías se hizo el cálculo del ingreso por docena de huevos, usando los siguientes precios promedio de venta en Colombia: jumbo: \$320/unidad, AAA: \$300/unidad, AA: \$290/unidad, A: 280 y huevos pequeños: \$180/unidad. Con la información anterior se calculó la rentabilidad bruta como la diferencia entre el ingreso por docena y el costo de alimentación por docena.

6.2.7 Análisis estadístico

Las variables fueron evaluadas a través de un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4x2, correspondiendo a los cuatro niveles de inclusión de glicerina (0, 3, 6 y 9%) y las dos densidades energéticas (baja y alta) de las dietas, además, se utilizó el peso inicial de cada repetición como covariable en el diseño. Para evaluar el efecto de la interacción se utilizó una prueba de medias ajustadas, fijando el factor nivel de glicerina o densidad energética de la dieta para la comparación correspondiente. Cuando los efectos principales fueron significativos se realizó una prueba de medias de Tukey comparando los niveles de glicerina o la densidad energética de la dieta. Adicionalmente, a través de contrastes se evaluó el tipo de efecto (lineal, cuadrático o cúbico) de la inclusión de glicerina en la dieta. La información fue procesada a través del paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS Inst., Inc., Cary, NC), con el procedimiento Mixed.

Para determinar el efecto de los tratamientos experimentales sobre los parámetros de la curva de postura, los datos fueron ajustados al modelo de McMillan (1981), ecuación que registró el mejor ajuste, dado el tiempo de evaluación (semana 40) y cuyos parámetros ofrecen una explicación del proceso biológico (López, 2008). La ecuación utilizada fue la siguiente: $yt = a(e^{-k_1*t} - e^{-k_2*t})$, donde, yt = Postura a la semana t ; a = valor asintótico de la postura; k_1 = tasa de disminución en la producción de huevos después del pico de postura; k_2 = tasa de incremento instantáneo en la producción de huevos. Los datos se procesaron a través del procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC). La prueba descrita por Motulsky & Christopoulos (2003) fue usada para evaluar la existencia de curvas de postura diferentes en función a los tratamientos experimentales, usando para ello la información del error del modelo reducido (sin tener en cuenta los agrupamientos) y el modelo completo (con parámetros diferentes para cada grupo). Para comparar las curvas de postura en función del peso de la polla a la semana 13 de edad, éstas se clasificaron en cuatro categorías: livianas: 998 g (968 g - 1026 g), semilivianas: 1083 g (1053 g - 1113 g), semipesadas: 1168 g (1138 g - 1198 g) y pesadas: 1253 g (1223 g - 1283 g).

6.3 Resultados y discusión

Debido a que ninguna interacción fue significativa se presentan las tablas y se discuten los resultados con los efectos principales.

6.3.1 Desempeño productivo de la semana 13 a la 19 de edad

Durante la fase de recría, de la semana 14 a la 16, se observó un efecto significativo de la densidad energética de la dieta sobre la respuesta de las pollas marrón (tabla 6-4). Las aves que recibieron dietas bajas en energía consumieron más ($p<0.05$) alimento (+1.6 g/a/d), pero registraron una menor ($p<0.05$) ganancia de peso (-0.4 g/a/d) y mayor ($p<0.05$) conversión alimenticia (+0.70 g/g). Por otro lado, se observó un efecto lineal ($p<0.05$) de la inclusión de glicerina cruda en las dietas, en donde, a mayor inclusión de este coproducto se registró mayor ganancia de peso y menor conversión alimenticia. Posteriormente, de la semana 17 a 19 de edad, se observó que aves alimentadas con dietas bajas en energía consumieron 2.6 g/a/d más ($p<0.05$) de alimento respecto a las que recibieron dietas más energéticas. Además, las pollas que se alimentaron con dietas que contenían 9% de glicerina cruda pesaron 30 g más ($p=0.0806$) comparado con aquellas del grupo control. La menor ganancia de peso en la fase de recría comparado con la prepostura obedece a que las aves perdieron peso durante la siguiente semana después del arribo a la granja (-2.0 semana 14 de edad), pero posteriormente se adaptaron y registraron una mayor ganancia de peso (12.3 y 12.5 g/ave/d semana 15 y 16 de edad, respetivamente).

Tabla 6-4: Desempeño productivo de la semana 13 a la 19 de edad de pollas marrón alimentadas con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda

Tratamiento	Recría			Prepostura			
	Ganancia de peso (g/d)	Consumo alimento (g/d)	Conversión alimenticia (g/g)	Ganancia de peso (g/d)	Consumo alimento (g/d)	Conversión alimenticia (g/g)	Peso semana 19 (g)
EMAn							
Alta	7.79 a	63.2 b	8.23 a	13.4	81.9 b	6.11	1558
Baja	7.38 b	64.8 a	8.95 b	13.8	84.5 a	6.14	1550
EEM ¹	0.131	0.344	0.163	0.231	0.872	0.062	5.10
Glicerina							
0	7.34	63.6	8.82	13.2	82.3	6.26	1536

Tabla 6-5: (Continuación)

3	7.46	63.7	8.92	13.8	82.7	6.01	1556
6	7.66	64.2	8.46	13.6	83.7	6.18	1557
9	7.89	64.6	8.21	13.9	83.9	6.06	1567
EEM ²	0.180	0.486	0.231	0.327	1.233	0.088	7.22
Efectos ³							
EM dieta	*	**	*	NS	*	NS	NS
Glicerina	NS	NS	NS	NS	NS	NS	+
Contraste glicerina ⁴	L	L	L	NS	NS	NS	L
Peso inicial	** ⁵	* ⁶	** ⁷	NS	* ⁸	NS	** ⁹

¹ error estándar de la media para energía, n= 32.

² error estándar de la media para glicerina, n= 16.

³ +: p<0.1, *: p<0.05, **: p<0.001, NS: no significativo.

⁴ L: lineal.

⁵ 16.7 (1.46) – 0.0083 (0.0013)*Peso inicial, R²: 0.388.

⁶ 56.2 (3.88) + 0.0070 (0.0035)*Peso inicial, R²: 0.06.

⁷ -5.15 (1.90) – 0.0124 (0.0017)*Peso inicial, R²: 0.458.

⁸ 57.1 (9.21) + 0.023 (0.0083)*Peso inicial, R²: 0.115.

⁹ 613.2 (55.5) + 0.848 (0.049)*Peso inicial, R²: 0.823

6.3.2 Desempeño productivo hasta el pico de postura

Las aves alimentadas hasta el 50% de postura con dietas bajas en energía metabolizable consumieron, de la semana 20 a la 28 de edad, 2.4 g/a/d más (p<0.05) de alimento, pusieron huevos que pesaban 0.8 g menos (p<0.05) y registraron 0.03 kg/docena más (p=0.072) de conversión alimenticia que aquellas que recibieron dietas altas en energía (tabla 6-5). Además, se observó una tendencia lineal de la inclusión de glicerina cruda en las dietas sobre la ganancia de peso de las aves durante ese mismo periodo, en donde a mayor inclusión de glicerina menor ganancia de peso, sin embargo, para el porcentaje de postura y consumo de alimento la tendencia lineal fue directamente proporcional con la inclusión de glicerina en la dieta. Por otro lado, las aves alimentadas con dietas que contenían 3% de glicerina pusieron huevos más (p<0.05) pesados, comparados con los de las ponedoras que recibieron dietas con 6% de glicerina. Adicionalmente, se observó que el peso al inicio del estudio, semana 13 de edad, afectó (p<0.05) las variables de desempeño hasta el pico de postura. En ese sentido, a mayor peso a la semana 13 de edad, mayor postura, consumo de alimento, peso y masa del huevo y menor conversión alimenticia.

Tabla 6-6: Desempeño productivo hasta el pico de postura de gallinas ponedoras marrón alimentadas durante la fase de transición con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda

Tratamiento	Consumo (g/ave/d)	Ganancia de peso (g/d)	Postura (%)	Peso del huevo (g)	Masa de huevo (g)	Conversión alimenticia (kg/doz)
EMAn						
Alta	103.4 b	2.6	78.4	54.2 a	42.5	1.58 a
Baja	105.8 a	2.7	78.9	53.4 b	42.1	1.61 b
EEM ¹	0.379	0.198	0.456	0.240	0.343	0.009
Glicerina						
0	103.2 b	3.0	77.6	53.8 ab	41.7	1.60
3	104.9 ab	2.6	79.1	53.3 b	42.3	1.59
6	104.9 ab	2.7	78.1	54.6 a	42.7	1.60
9	105.4 a	2.2	79.8	53.4 ab	42.7	1.58
EEM ²	0.537	0.280	0.646	0.340	0.485	0.013
Efectos ³						
EM dieta	**	NS	NS	*	NS	*
Glicerina	*	NS	+	*	NS	NS
Contraste glicerina ⁴	L	L	L	C	NS	NS
Peso inicial	**5	NS	**6	**7	**8	*9

¹ error estándar de la media para energía, n= 32.

² error estándar de la media para glicerina, n= 16.

³ +: p<0.1, *: p<0.05, **: p<0.001, NS: no significativo.

⁴ L: lineal, C: Cúbico

⁵ 85.3 (4.78) + 0.017 (0.0043)*Peso inicial, R²: 0.209.

⁶ 52.2 (4.96) + 0.024 (0.0044)*Peso inicial, R²: 0.315.

⁷ 42.8 (2.76) + 0.0098 (0.0024)*Peso inicial, R²: 0.203.

⁸ 19.5 (3.52) + 0.020 (0.0031)*Peso inicial, R²: 0.405.

⁹ 1.84 (0.10) - 0.00021 (0.00009)*Peso inicial, R²: 0.083.

Similar a lo observado en este estudio, van Krimpen et al. (2007), observaron que las aves que consumieron dietas diluidas en un 10%, de la semana 18 a la 26, compensaron consumiendo 10% más de alimento, lo que resultó en un similar consumo de nutrientes y por tanto el desempeño no fue afectado. De igual manera, dePersio et al. (2007), al evaluar la dilución de la dieta hasta el 15% en gallinas de la línea Hy-Line W-36 encontraron que las aves compensaron el consumo de alimento durante el primer periodo de evaluación (hasta la semana 26 de edad), pero posteriormente con un suministro continuo de las dietas diluidas las aves no incrementaron el consumo de alimento, lo que limitó la ingesta de nutrientes y afectó negativamente el porcentaje de postura y peso de los huevos.

En este estudio se observó una tendencia lineal del consumo de glicerina sobre el peso del ave antes del inicio de la postura, tendencia que se mantuvo en términos de producción de huevos hasta el pico de postura y que se ratifica por la significancia de la regresión del peso inicial y la postura de huevos. Saldaña et al. (2016), reportan que las aves que consumieron dietas quebrantadas fueron más pesadas a la semana 17 de edad, lo que se tradujo en que comenzaron la producción más temprano y pusieron, hasta la semana 22 de edad, más huevos y de mayor tamaño, que aquellas más livianas que fueron alimentadas con dietas en harina. Además, estos investigadores reportan que la ganancia de peso fue mayor en las aves livianas al inicio de la postura, lo que coincide con la tendencia observada frente al consumo de glicerina. A nivel general se reconoce que las gallinas que son más livianas al inicio de la postura producen menos huevos y de menor tamaño que aquellas más pesadas (Leeson et al., 1997; Perez-Bonilla et al., 2012).

Min et al. (2010) indican que la glicerina puede estimular el consumo de alimento por el sabor dulce de este recurso. El incremento en el consumo de alimento en gallinas ponedoras por el uso de glicerina en las dietas fue reportado por Fontinele et al., (2017), en gallinas marrón de 90 semanas de edad, con un máximo estimado al 6%, y por Suchy et al., (2012), en niveles del 4% de glicerol, cuando reemplazaron aceite de soya por glicerina. Algunos autores mencionan que el sodio presente en la glicerina puede limitar el consumo de alimento (Guerra et al., 2011), sin embargo, en este estudio la utilización de una glicerina cruda con 1.1% de sodio no causó ese efecto. El incremento en la postura por el uso de glicerina en las dietas fue reportado por Fontinele et al. (2017), en gallinas marrón en el segundo ciclo de postura, en donde las aves alimentadas con dietas que contenían 10% de glicerina cruda pusieron 6% más huevos que las aves del grupo control. De igual manera, Boso et al. (2013), encontraron que el porcentaje de postura se incrementó linealmente con el consumo de glicerina en un rango que varió entre 1.5 a 7.5% durante 16 semanas de postura, esta respuesta está relacionada directamente con el incremento en el consumo de alimento. Este último grupo de investigadores también reportaron una respuesta cuadrática en el peso del huevo, con un mínimo estimado para la inclusión del 4.9% de glicerina (Boso et al., 2013). Sin embargo, Fontinele et al. (2017), reportan un efecto lineal positivo de la inclusión de glicerina en las dietas sobre la masa del huevo en gallinas marrón, asociado a un mayor consumo de alimento.

6.3.3 Desempeño en producción después del pico de postura

El consumo de dietas bajas o altas en energía desde la semana 13 y hasta el 50% de postura afectó el consumo de alimento y la postura de gallinas ponedoras marrón después del pico de postura (tabla 6-6). Las aves que recibieron dietas bajas en energía durante la fase de transición consumieron 1.6 g de alimento más ($p<0.05$) y pusieron 0.9% más de huevos que sus contrapartes. Similar a lo observado antes del pico de postura, el peso a la semana 13 de edad afectó positivamente ($p<0.05$) el desempeño productivo entre el pico de postura y la semana 40 de edad.

Tabla 6-7: Desempeño productivo después de pico de postura y hasta la semana 40 de edad de ponedoras marrón alimentadas durante la fase de transición con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda

Tratamiento	Consumo (g/ave/d)	Postura (%)	Peso del huevo (g)	Masa del huevo (g)	Conversión alimenticia (kg/doz)
EMAn					
Alta	113.3 b	96.1 b	60.5	58.2	1.41
Baja	115.0 a	97.0 a	60.5	58.7	1.42
EEM ¹	0.185	0.265	0.272	0.331	0.004
Glicerina					
0	114.0	95.8	60.9	58.4	1.43
3	114.3	96.8	60.2	58.3	1.42
6	114.0	97.0	60.7	58.9	1.42
9	114.5	95.8	60.0	58.1	1.41
EEM ²	0.262	0.375	0.385	0.469	0.005
Efectos ³					
EM dieta	**	*	NS	NS	NS
Glicerina	NS	NS	NS	NS	NS
Contraste glicerina ⁴	NS	Q, +	L	NS	NS
Peso inicial	**5	**6	**7	**8	NS

¹ error estándar de la media para energía, n= 32.

² error estándar de la media para glicerina, n= 16.

³ +: $p<0.1$, *: $p<0.05$, **: $p<0.001$, NS: no significativo.

⁴ L: lineal, C: Cúbico

⁵ $103.0 (2.86) + 0.0092 (0.0025)*\text{Peso inicial}$, $R^2: 0.171$.

⁶ $85.8 (2.96) + 0.0096 (0.0026)*\text{Peso inicial}$, $R^2: 0.173$.

⁷ $47.5 (2.83) + 0.011 (0.0025)*\text{Peso inicial}$, $R^2: 0.228$.

⁸ $39.4 (3.49) + 0.016 (0.0031)*\text{Peso inicial}$, $R^2: 0.304$.

Trabajos que evalúen el efecto de la utilización de dietas con diferente concentración de energía durante el final de recría e inicio de la postura sobre el posterior desempeño de la

gallina ponedora no fueron encontrados en la literatura. Sin embargo, en el trabajo desarrollado por Saldaña et al. (2016), la utilización de dietas con diferentes niveles de energía metabolizable durante la fase de crecimiento (semana 1 a la 17 de edad) de gallinas ponedoras, contrario a lo observado en este estudio, no afectó el posterior desempeño durante la etapa de postura en términos de consumo de alimento, producción, peso del huevo, eficiencia alimenticia o ganancia de peso.

En la literatura no se encuentran reportes del efecto de arrastre del consumo de glicerina durante el periodo de transición sobre el desempeño posterior de gallinas ponedoras. Sin embargo, investigaciones que evaluaron el consumo de glicerina sobre la respuesta productiva de ponedoras concluyen, de manera similar a lo encontrado después del pico de postura, que la utilización de este coproducto en las dietas no afecta el consumo de alimento, ni cuando se incluye en la formulación de dietas (Boso et al., 2013; Mandalawi et al., 2015; Swiatkiewicz y Koreleski, 2009) ni cuando se utiliza para reemplazar aceite en la formulación (Cufadar et al., 2016; Kanbur et al., 2017). La anterior respuesta también ha sido encontrada en codornices ponedoras (Erol et al., 2009; Ghayas et al., 2017). De igual manera, el uso de este recurso no afecta el porcentaje de postura o el peso del huevo de gallinas ponedoras, cuando se hacen inclusiones menores al 7.5% (Duarte et al., 2014, Mandalawi et al., 2015; Swiatkiewicz y Koreleski, 2009; Yalcin et al., 2010) o cuando se reemplaza hasta el 75% del aporte energético de los aceites por glicerina (Cufadar et al., 2016; Kanbur et al., 2017). En codornices ponedoras se encontró que la utilización de dietas con inclusiones de hasta el 10% de glicerina no afectó el porcentaje de postura o el peso del huevo (Erol et al., 2009; Ghayas et al., 2017). Algunos autores concluyen que la eficiencia de uso del alimento en gallinas ponedoras no es afectada por la inclusión de glicerina en las dietas, ya que en algunos casos el aumento en la postura y masa del huevo se correlacionaron con el consumo de alimento (Fontinele et al., 2017) o se evidencia una respuesta productiva similar en las variables que construyen este índice (Swiatkiewicz y Koreleski, 2009).

La distribución de huevos en las diferentes categorías no fue afectada por los tratamientos experimentales. El promedio de todos los tratamientos durante el estudio fue: Jumbo: 2.7%, AAA: 23.8%, AA: 30.1%, A: 18.2%, B: 16.4%, C: 8.5% y rotos: 0.8%. De igual

manera, las características físicas de los huevos no fueron afectadas por los tratamientos experimentales, que en promedio registraron los siguientes valores: 0.41 mm de grosor de la cáscara, 11.9 en la puntuación de color, 5.95 mm de altura de la albúmina y 89.3 Unidades Haugh. Similar a lo encontrado en este estudio, en la literatura se concluye que el espesor de la cáscara, color de la yema o altura de la albúmina de los huevos no son afectadas por los niveles de inclusión de glicerina en las dietas (Boso et al., 2013; Cufadar et al., 2016; Duarte et al., 2014; Fontinele et al., 2017; Mandalawi et al., 2015; Swiatkiewicz & Koreleski, 2009).

6.3.4 Modelación de la dinámica de postura de gallinas ponedoras marrón

La utilización de dietas con diferente nivel de energía metabolizable afectó la forma de la curva de postura de las gallinas ponedoras (tabla 6-7). Las aves alimentadas con dietas que contenían menos energía metabolizable tuvieron una menor tasa de descenso después del pido de postura y una mayor ($p < 0.05$) tasa de ascenso al pico, parámetro que también fue afectado por la inclusión de glicerina cruda en las dietas. Cuando se revisó la curva de postura de los grupos de peso corporal se encontró que con el incremento en el tamaño a la semana 13 de edad las aves ascienden más rápido al pico y tienden a tener disminuir lentamente en la habilidad de postura después del pico. La estimación del desempeño de un ciclo de postura (hasta la semana 72 de edad), a través de los parámetros del modelo de McMillan indican que las aves alimentadas con dietas bajas en energía producirían 20 huevos más que aquellas alimentadas con dietas altas en energía (330 y 310 para baja y alta energía, respectivamente), de la misma manera, las aves alimentadas durante la transición con dietas con 9% de glicerina producirían cerca de 10 huevos más, que aquellas del grupo control (326, 333, 335 y 336 huevos por ave alojada para 0, 3, 6 y 9% de glicerina, respectivamente). Sin embargo, la mayor diferencia en producción estimada a 72 semanas fue de 38 huevos, predicha entre las aves livianas y las pesadas (310, 330, 341 y 348 huevos por ave alojada, para livianas, semilivianas, semipesadas y pesadas, respectivamente).

Tabla 6-8: Parámetros de la dinámica de postura de gallinas ponedoras marrón alimentadas durante la fase de transición con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda

Tratamiento	Parámetros de la curva de postura			Parámetros de la curva de peso del huevo		
	a ¹	k1 ²	k2 ³	A ⁴	B ⁵	K ⁶
EMAn						
Baja	99.2	0.0015 a	0.746 a	61.7	799.0	0.819
Alta	102.1	0.0043 b	0.663 b	61.3	1461.5	0.800
Glicerina						
0	101.2	0.0038	0.667 b	62.0	1167.4	0.809
3	101.2	0.0030	0.662 b	61.9	740.7	0.822
6	100.0	0.0024	0.720 ab	61.1	1184.9	0.806
9	99.8	0.0023	0.774 a	60.9	1461.7	0.797
Peso semana 13						
Pesadas	99.0	0.0008 a	0.892 a	62.6 a	1970.5	0.787
Semipesadas	99.1	0.0015 ab	0.809 ab	62.1 ab	1181.2	0.807
Semilivianas	101.0	0.0033 ab	0.690 b	61.3 ab	953.3	0.813
Livianas	105.4	0.0069 b	0.500 c	60.3 b	958.7	0.816

¹ valor asintótico de la postura.

² tasa de disminución en la producción de huevo después del pico.

² tasa de incremento en la producción de huevo hasta el pico de postura.

⁴ valor asintótico en el peso del huevo.

⁵ tiempo a la asintota en el peso del huevo.

⁶ tasa de incremento en el tamaño del huevo.

Otwinowska-Mindur et al. (2016), encontraron que la curva de postura de las aves con baja productividad se caracterizó por un mayor valor de las tasas de ascenso al pico y caída después del pico. En este estudio las aves con menor producción registraron una menor tasa de ascenso al pico, pero mayor tasa de descenso. Por otro lado, cuando se compararon las curvas de postura de gallinas Leghorn seleccionadas y no seleccionadas, se encontró que el mejoramiento genético cambió el patrón de la curva, aumentando principalmente el parámetro del potencial máximo (a) y disminuyendo la tasa de ascenso al pico (c) del modelo de McMillan (Savegnago et al., 2012), lo que correspondería a la tendencia observada en aves livianas, sin embargo, la productividad de estas es menor y podría estar influenciada fuertemente por el parámetro de caída de la curva..

6.3.5 características de las nidadas y las pausas durante la fase de producción

El desempeño reproductivo (características de las nidadas y las pausas) hasta el pico de postura no fue afectado ($p>0.05$) por la densidad energética de la dieta o el nivel de inclusión de glicerina cruda (datos no presentados), dada la alta variación entre individuos en el periodo evaluado. Además, solo fue afectado ($p<0.05$) el inicio de la postura y el número de huevos acumulados hasta el pico, debido al peso de las pollas a la semana 13 de edad. Hasta la semana 40 de edad, las gallinas ponedoras alimentadas con dietas bajas en energía registraron un mayor ($p<0.05$) número de huevos acumulados, mayor ($p<0.05$) tamaño máximo de nidada y mayor ($p=0.061$) promedio de nidada, comparado con aquellas que recibieron dietas con mayor energía (tabla 6-8). Por otro lado, se observó una tendencia lineal de la inclusión de glicerina en las dietas sobre el tiempo al inicio de postura, siendo menor ($p=0.068$) en las aves que consumieron dietas con más glicerina en la fase de transición, diferencia que se traduce en 2.1 día menos a la postura del primer huevo. Además, las aves alimentadas con dietas sin glicerina pusieron 2.1 huevos menos ($p=0.076$) que las del tratamiento con 9% de inclusión. Un incremento en el peso corporal a la semana 13 de edad se tradujo en menor tiempo al inicio de la postura, mayor número de huevos acumulados, mayores nidadas y menores pausas.

Tabla 6-9: Características de las nidadas y pausas hasta la semana 40 de edad de gallinas ponedoras marrón alimentadas durante la fase de transición con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda

Tratamiento	Inicio de postura (s)	Huevos	Máxima nidada (huevos)	Nidada (huevos)	No. de nidadas	Pausa (d)	No. de pausas
EMAn							
Alta	20.2	130.1 a	71.3 b	28.7	4.8	1.54	4.3
Baja	20.4	131.1 b	81.5 a	34.7	4.1	1.58	3.9
EEM ¹	0.090	0.413	3.39	2.42	0.314	0.116	0.373
Glicerina							
0	20.4	129.3	75.6	30.0	4.7	1.66	4.0
3	20.5	130.6	77.8	30.6	4.6	1.62	4.0
6	20.2	131.1	81.5	32.3	4.4	1.48	4.1
9	20.2	131.4	70.6	32.3	4.4	1.46	4.2
EEM ²	0.128	0.584	4.80	3.42	0.445	0.164	0.528
Efectos ³							
EM dieta	NS	*	*	+	NS	NS	NS
Glicerina	+	+	NS	NS	NS	NS	NS
Contraste glicerina ⁴	L	L	NS	NS	NS	NS	NS

Tabla 6-10: (Continuación)

Peso inicial	*5	**6	*7	*8	**9	NS	*10
--------------	----	-----	----	----	-----	----	-----

¹ error estándar de la media para energía, n= 32.

² error estándar de la media para glicerina, n= 16.

³ +: p<0.1, *: p<0.05, **: p<0.001, NS: no significativo.

⁴ L: lineal.

⁵ 22.5 (0.98) - 0.002 (0.0009)*Peso inicial, R²: 0.076.

⁶ 103.9 (4.65) + 0.024 (0.0041)*Peso inicial, R²: 0.346.

⁷ -46.4 (37.9) + 0.110 (0.034)*Peso inicial, R²: 0.144.

⁸ -51.9 (25.3) + 0.075 (0.023)*Peso inicial, R²: 0.150.

⁹ 16.6 (3.42) - 0.010 (0.0030)*Peso inicial, R²: 0.159.

¹⁰ 12.8 (3.80) - 0.0076 (0.0034)*Peso inicial, R²: 0.075.

En gallinas ponedoras la expresión del potencial genético relacionada con la eficiencia productiva y el grado de adaptación se asocia con grandes tamaños de nidadas (Samiullah et al., 2016; Zerjal et al., 2013). La cantidad de huevos acumulados está en función de las nidadas y pausas que registre la ponedora, en ese sentido, Erensayin & Camci (2003) encontraron que la correlación de esta variable con el número de nidadas es negativa, respuesta que también se observó en este estudio (-0.408, p<0.001). Además, se encontró una correlación negativa entre la cantidad de huevos acumulados y el tamaño de las pausas (-0.459, p<0.01), lo que evidencia el impacto de la duración del descanso sobre el desempeño de las aves similar a lo reportado en la literatura (Alkan et al., 2013; Mutayoba et al., 2012). Por otro lado, el inicio temprano en la postura se relaciona positivamente el número de total de huevos por ave (Alkan et al., 2013), relación que también fue encontrada en este estudio (-0.394 p<0.05).

6.3.6 Evaluación económica

Las gallinas ponedoras que fueron alimentadas durante la fase de transición con dietas altas en energía registraron un menor (p<0.05) costo de alimentación hasta el pico de postura, comparado con aquellas que recibieron dietas bajas en energía, lo que afectó (p=0.0976) positivamente la rentabilidad bruta de ese grupo de aves. Por otro lado, las gallinas que recibieron dietas con 6 o 9% de glicerina cruda recibieron \$89 más (p=0.0981) por docena de huevos que las aves alimentadas con 0 o 3% de glicerina cruda (tabla 6-9). Después del pico de producción la evaluación económica no fue afectada por los tratamientos experimentales. Por otro lado, el peso de la pollita a la semana 13 de edad

afectó significativamente los indicadores económicos evaluados. En ese sentido, a mayor peso a esa edad se genera una mayor rentabilidad bruta asociada principalmente a un incremento en los ingresos.

Tabla 6-11: Evaluación económica de la alimentación de gallinas ponedoras marrón alimentadas durante la fase de transición con dietas bajas o altas en energía y glicerina cruda (\$/docena de huevo)

Tratamientos	Hasta el pico de postura			Desde el pico de postura hasta la semana 40		
	Ingreso	Costo de alimento	Ingreso-costo	Ingreso	Costo de alimento	Ingreso-costo
EMAn						
Alta	2726	1765 a	961	3199	1577	1622
Baja	2706	1794 b	912	3190	1585	1605
EEM ¹	21.5	10.7	21.1	14.3	4.2	15.5
Glicerina						
0	2668	1780	886	3198	1592	1606
3	2661	1773	889	3204	1578	1626
6	2760	1797	965	3196	1578	1618
9	2746	1767	979	3182	1577	1605
EEM ²	30.4	15.1	29.9	20.2	6.0	22.0
Efectos ³						
EM dieta	NS	*	+	NS	NS	NS
Glicerina	+	NS	NS	NS	NS	NS
Contraste glicerina ⁴	C	NS	L	NS	NS	NS
Peso inicial	**5	*6	**7	*8	NS	*9

¹ error estándar de la media para energía, n= 32.

² error estándar de la media para glicerina, n= 16.

³ +: p<0.1, *: p<0.05, **: p<0.001, NS: no significativo.

⁴ C: Cúbico

⁵ 1776.9 (228.8) + 0.846 (0.205)*Peso inicial, R²: 0.214.

⁶ 2050.7 (114.8) – 0.244 (0.103)*Peso inicial, R²: 0.083.

⁷ -273.7 (227.7) + 1.091 (0.204)*Peso inicial, R²: 0.313.

⁸ 2769.9 (147.3) + 0.383 (0.132)*Peso inicial, R²: 0.118.

⁹ 1114.7 (158.7) + 0.450 (0.142)*Peso inicial, R²: 0.138.

En el trabajo desarrollado por dePersio et al. (2015), encontraron que con el aumento de la densidad energética de la dieta se incrementan de manera lineal los ingresos recibidos por venta de huevos y el costo por alimentación y se reduce la rentabilidad bruta, respuesta que contrasta con los resultados obtenidos en este estudio hasta la semana 28, ya que la utilización de dietas con mayor energía se tradujo en menor consumo de alimento, lo que redujo los costos y aumentó la rentabilidad.

Conclusiones

La utilización de dietas altas en energía durante la fase de transición hizo que las gallinas ponedoras consumieran menos alimento durante todo el periodo de evaluación, además, registraron una mayor ganancia de peso y mejor conversión alimenticia durante la fase de recría, pero pusieron huevos más livianos durante la postura temprana y en menor cantidad después del pico de postura, sin embargo, la utilidad bruta fue mayor en este grupo de aves.

Se observó un efecto lineal positivo del consumo de glicerina sobre la ganancia de peso y la conversión alimenticia durante la fase de recría que se reflejó en el peso corporal a la semana 19 de edad, lo que afectó linealmente el porcentaje de huevos puestos y el consumo de alimento antes del pico, y tendió a afectar positivamente el ingreso por venta de huevos.

El peso corporal a la semana 13 de edad afectó positivamente el desempeño productivo de las gallinas ponedoras marrón durante la fase de postura.

7. Capítulo 7. Discusión general, Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Discusión general

La nutrición y alimentación de los pollos de engorde durante las dos primeras semanas de vida soportan el período más dinámico de su ciclo de producción de carne, ya que numerosos eventos ocurren, tales como el crecimiento y maduración del tracto intestinal, el desarrollo del sistema inmune y el desarrollo del sistema de termorregulación (Christensen 2009). La nutrición y alimentación de los pollos de engorde en este período dependen de diversos factores relacionados entre otros de las condiciones de producción, del uso de recursos alimenticios altamente disponibles y del tiempo de acceso al alimento después de la eclosión. En este contexto, una limitada investigación ha sido llevada a cabo para estudiar estos factores en relación con la explotación de los pollos de engorde en condiciones de altitud, en donde predominan diversos regímenes de restricción alimenticia que propenden por una mejor respuesta y adaptación de las aves expresadas a través de una menor incidencia de ascitis. De otra parte, la nutrición y alimentación de ponedoras también presenta un período crítico de transición del crecimiento a la producción de huevos con implicaciones sobre los patrones de persistencia en la producción de huevos, los cuales en buena medida dependen de la disponibilidad de energía.

La interdependencia de los sistemas de alimentación sobre la respuesta en desarrollo fisiológico y madurez, durante las primeras dos semanas de vida en pollos de engorde, para la producción de carne y el desarrollo fisiológico y madurez para alcanzar el pico de producción en ponedoras marrón, es estudiada en esta tesis focalizando en particular en el caso de pollos de engorde en el suministro del primer alimento después de la eclosión y la inclusión de aditivos alimenticios funcionales que promueven una mayor maduración del tracto gastrointestinal y capacidad de respuesta a la problemática de ascitis. Estos

aspectos son tratados estratégicamente con el uso en producción de carne de pollo y huevos de un recurso alimenticio alternativo energético como la glicerina proveniente de la industria de biodiesel.

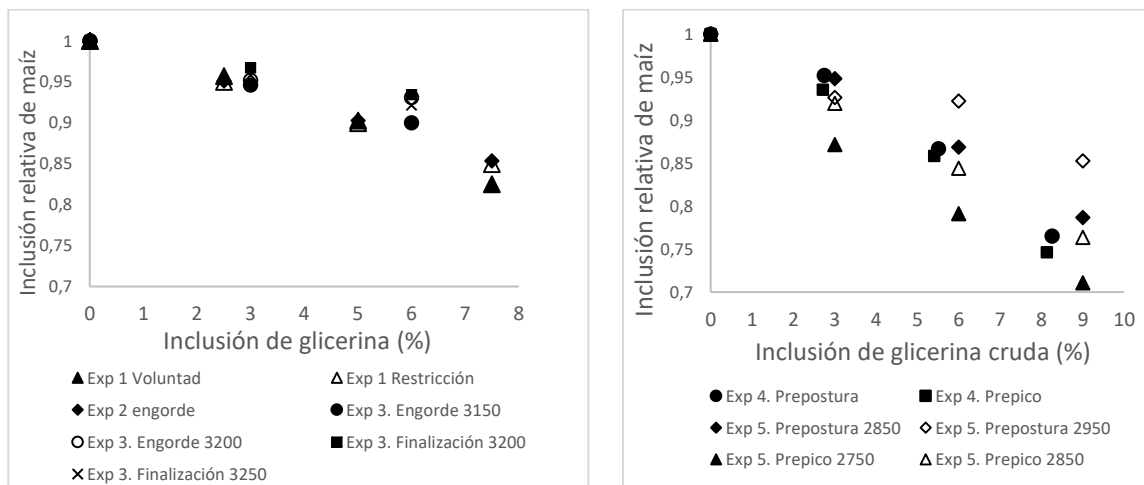
El objetivo de esta discusión es combinar los datos de los diferentes capítulos de la tesis y la literatura y discutir los resultados obtenidos en relación con el uso de glicerina en pollos de engorde y ponedoras en condiciones del trópico de altura colombiano, donde predominan problemáticas de producción de carne de pollo como la ascitis, las cuales son controladas con sistemas de restricción alimenticia y de producción de huevos en condiciones de estrés por frío. Se discuten las potenciales implicaciones de los resultados obtenidos en pollos de engorde y ponedoras marrón a nivel comercial.

La rentabilidad de la producción de carne y huevos es significativamente afectada por el precio del alimento (Altahat et al., 2012) y en la estructura de la formulación de dietas el componente energético tiene un alto valor (Classen, 2017), de tal forma que el diseño y formulación de sistemas de alimentación permitan optimizar la inclusión de recursos energéticos para impactar positivamente la estructura económica de estos productos. En ese sentido, en Colombia, así como en otras partes del mundo, se viene incrementando la disponibilidad de glicerina proveniente de la producción de biodiesel (Fedebiocombustibles 2016), lo que ha permitido que este recurso sea evaluado para su inclusión en sistemas de alimentación animal (Beserra et al., 2016; Retore et al., 2012; Verussa et al., 2016). Las investigaciones realizadas en alimentación de aves, en donde se ha evaluado la glicerina, se han enfocado en la determinación del valor energético (Dozier III et al., 2008; Lammers et al., 2008; Nemeth et al., 2013; Jung y Batal, 2011b) y la definición de los límites máximos de uso en las dietas (Pereira et al., 2015; Topal y Ozdogan, 2013), pero las investigaciones aún son limitadas sobre el impacto de la utilización de este coproducto en momentos de alto esfuerzo fisiológico y/o adaptación a condiciones de altitud, como el caso de la restricción alimenticia en pollos de engorde o la fase de transición de ponedoras por sus efectos de arrastre durante el periodo de producción (Sujatha & Rajini, 2015). En particular en Colombia, estas tipologías de producción de proteína animal tienen una amplia influencia en los mercados masivos, con implicaciones sobre la seguridad alimentaria y la calidad de vida de los consumidores.

7.1.1 Dinámica de la inclusión de glicerina en las dietas de pollos de engorde y gallinas ponedoras

La utilización de glicerina en la formulación de dietas para aves genera un cambio en la inclusión de cereales, particularmente maíz, que se observó en las dietas de los diferentes experimentos realizados (figura 1) y también se ha reportado en los trabajos desarrollados con este coproducto (Abd-Elsamee et al., 2010; Cerrate et al., 2006; Duarte et al., 2014; Mandalawi et al., 2014). La ecuación de regresión que integra los datos de los experimentos con pollos de engorde en torno a una restricción alimenticia es la siguiente: $\text{Inclusión de maíz (0-1)} = 1.004 - 0.019 (\text{inclusión de glicerina, \%})$; $R^2: 0.849$, lo que indica que con cada punto de inclusión de glicerina se disminuye casi en 2% la inclusión de maíz. Por otra parte, la ecuación de regresión que relaciona la inclusión de glicerina cruda (experimento 1 y 2 con gallinas) y el cambio en la inclusión de maíz en las dietas experimentales con gallinas ponedoras es la siguiente: $\text{Inclusión de maíz (0-1)} = 1.003 - 0.026 (\text{inclusión de glicerina, \%})$; $R^2: 0.775$, indicando que por el incremento en un 1% de glicerina se disminuye el 2.6% la inclusión de maíz. La mayor tasa de reemplazo obedece a que no se incluyeron los datos de glicerina USP, para facilitar la interpretación de la figura, y, por otro lado, el valor de EM de la glicerina cruda es menor en gallinas (3340 y 3050 kcal de EM, para pollos y gallinas, respectivamente).

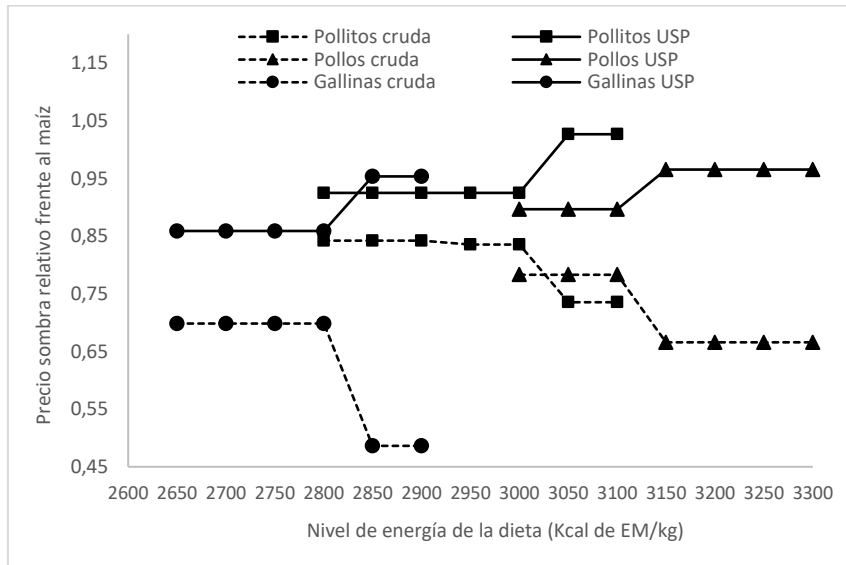
Figura 7-1: Relación entre la inclusión de glicerina de las dietas y la inclusión parcial de maíz (Lado izquierdo experimentos con pollos de engorde. Lado derecho experimentos con gallinas ponedoras)



Para determinar el precio sombra que deberá presentar la glicerina en las formulaciones de dietas para aves, se diseñó una matriz de formulación en donde se identificó al maíz como referente, dándole un precio de 1 y se normalizaron los precios de los otros recursos en función al precio del maíz, de esta manera, por ejemplo, la soya presentó un valor de 1.68, de acuerdo con el estimativo de costos de importación presentado por FENALCE (2018). Los precios sombra, resultado del proceso de optimización, generaron inclusiones de glicerina por arriba de 20%. En la figura 7-2, se presenta la dinámica del precio sombra relativo de la glicerina cruda y la USP para iniciación y engorde de pollos y postura de gallinas ponedoras, en función a la energía de las dietas. En las dietas en donde tiene mayor oportunidad de uso la glicerina cruda, reemplazando al maíz, es en las de iniciación de pollo de engorde, ya que puede llegar a costar hasta un 84% del precio del maíz, mientras que, para elaboración de dietas con alta concentración de energía para ponedoras, la glicerina debe costar menos del 50% del precio del maíz. La dinámica del precio sombra de la glicerina USP y la glicerina cruda presenta una tendencia particular en todas las formulaciones, ya que el diseño de dietas con EM por arriba de 2800, 3000 y 3100 kcal/kg para gallinas, pollitos y pollo en engorde, implica una reducción drástica en el precio de la glicerina cruda y la posibilidad de que la glicerina UPS pueda costar más, en virtud del valor de EM de este recurso.

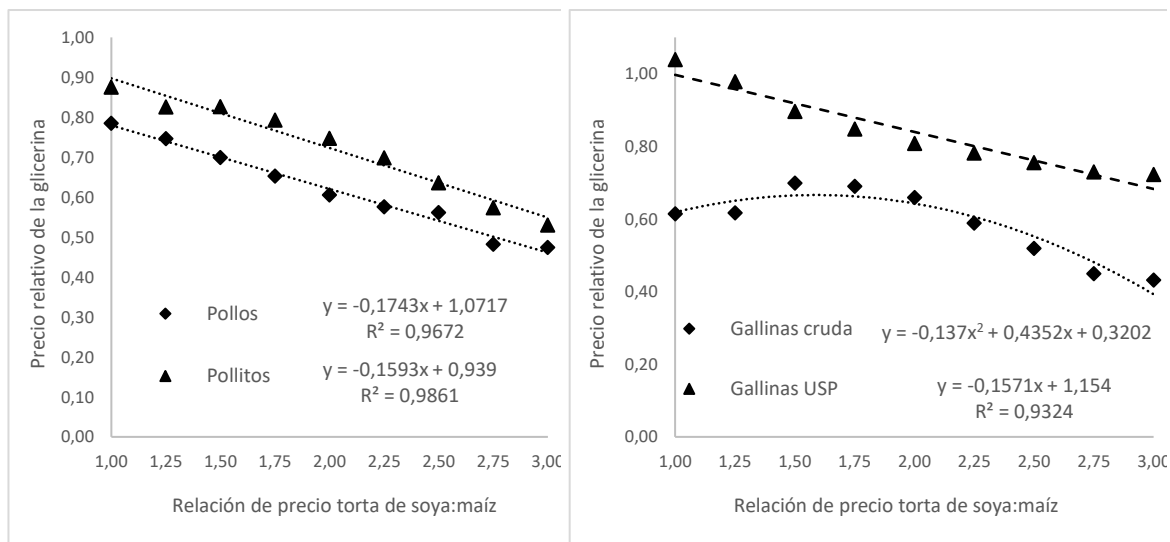
Por otra parte, el precio sombra de la glicerina USP, comparado con el maíz, está muy por debajo con respecto al precio reportado actualmente para este recurso, lo que implica que bajo estas condiciones y de acuerdo con el precio actual de las glicerinas refinadas (precios en Estados Unidos: Glicerina Kosher, 99.7% de pureza: 50 c/lb, glicerina técnica, 99.5%: 47 c/lb, Oleoline, 2018), es difícil que sea incluida en las dietas. Por lo anterior, se puede decir que, si solo se tienen en cuenta el valor de energía de la glicerina USP para su inclusión en las formulaciones, su utilización no es viable, pero si se considera el incremento en la respuesta productiva y/o fisiológica encontrada para algunas variables evaluadas en esta tesis, existe la posibilidad de uso de este recurso, lo cual implica un cambio en el tipo de formulación, pasar de un esquema de mínimo costo a uno que maximice la rentabilidad.

Figura 7-2: Precio sombra relativo (con relación al precio del maíz) de la glicerina en función al nivel de energía de las dietas de pollitos (iniciación), pollos (engorde) y gallinas (postura)



Debido a que el precio del componente proteico de la dieta afecta la inclusión de glicerina en las formulaciones, dado el mínimo aporte proteico de este coproducto, se elaboró una figura que presenta el comportamiento del precio sombra relativo de la glicerina cruda en función a la relación de precio entre la torta de soya y el maíz amarillo (figura 7-3). Se seleccionó la torta de soya ya que este es el principal ingrediente fuente de proteína en las formulaciones para aves. Se observó que el incremento de precio de la torta de soya con respecto al precio del maíz obliga a una reducción en el precio de la glicerina cruda para que sea incluida en las formulaciones. La tasa de reducción de precio relativo de la glicerina cruda es lineal en las dietas de pollos de engorde, y es mayor cuanto mayor es la restricción de proteína de la dieta, es así como para las pendientes de las dietas de pollos de iniciación y engorde fueron 0.17 y 0.16, respectivamente. Por otro lado, la tendencia en el precio sombra de la glicerina cruda en dietas de gallinas de postura presentó un comportamiento cuadrático, indicando que el máximo precio que deberá valer la glicerina es 0.66 del precio del maíz cuando la relación precio de la torta de soya: precio del maíz sea 1.59. El anterior análisis lleva a la conclusión que, para aprovechar al máximo los recursos energéticos alternativos, se debe tener en cuenta la disponibilidad de ingredientes proteicos de bajo costo, lo que obliga a pensar en el sistema de alimentación de manera integral e investigar en contexto acerca de las posibilidades para generar sistemas de alimentación que no sean dependientes de las importaciones de materias primas.

Figura 7-3: Precio sombra relativo (con relación al precio del maíz) de la glicerina en función a la relación de precio entre la torta de soya y el maíz amarillo



7.1.2 Respuesta productiva de pollos de engorde y gallinas ponedoras a la inclusión de glicerina en las dietas durante periodos definidos del ciclo de producción

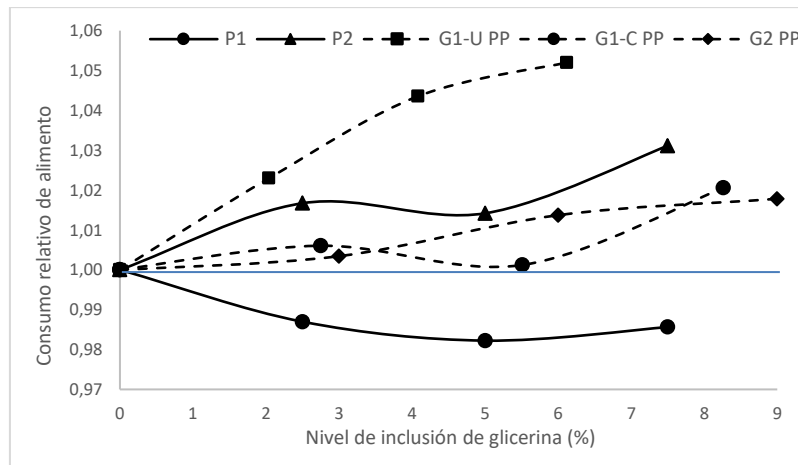
Debido a la falta de reportes de la literatura que hayan evaluado la inclusión de glicerina en condiciones similares a las evaluadas en este estudio, se realizará el análisis de la información considerando el efecto de arrastre que genera la estrategia evaluada sobre el ciclo completo de producción, para el caso de pollo de engorde, y sobre el desempeño durante la fase final del levante y durante la etapa productiva, de gallinas ponedoras marrón. Para poder comparar las tendencias en las respuestas de los diferentes ensayos de alimentación realizados, se normalizaron las variables, tomando como referencia las respuestas del tratamiento control. Además, se incluyeron solo los experimentos que evaluaron más de dos niveles de glicerina, para tener una superficie de respuesta que permitiera comparar el patrón de respuesta observado. De igual manera, las leyendas de las figuras hacen referencia a un conteo de experimentos que se relaciona así: P1 experimento 1 con pollos (glicerina USP durante la restricción), P2: experimento 2 con pollos (glicerina cruda después de la restricción), G1 experimento 1 con gallinas (U:

glicerina USP y C: glicerina cruda en dietas de transición) y experimento 2 con gallinas (glicerina cruda en dietas de transición).

• Consumo de alimento

A nivel general, se observó que la mayoría de las respuestas promedio de los tratamientos experimentales fueron similares o superiores al consumo de los grupos control, excepto en el experimento 1, con pollos de engorde, en donde se observó que la inclusión de glicerina USP generó un menor consumo de alimento (figura 7-4). Por otra parte, se observó que la respuesta lineal al consumo de glicerina cruda fue similar en los dos experimentos con pollitas antes del inicio de la postura, sin embargo, la inclusión de glicerina USP promovió un mayor incremento ($p < 0.05$) en el consumo de alimento, que llegó a ser 5% mayor que el registrado para el control, cuando se utilizó glicerina USP en niveles del 6.1 % (aporte del 9% de EM de la dieta).

Figura 7-4: Consumo relativo de alimento de pollos de engorde y pollas en la fase final del levante de acuerdo con la inclusión de glicerina en las dietas



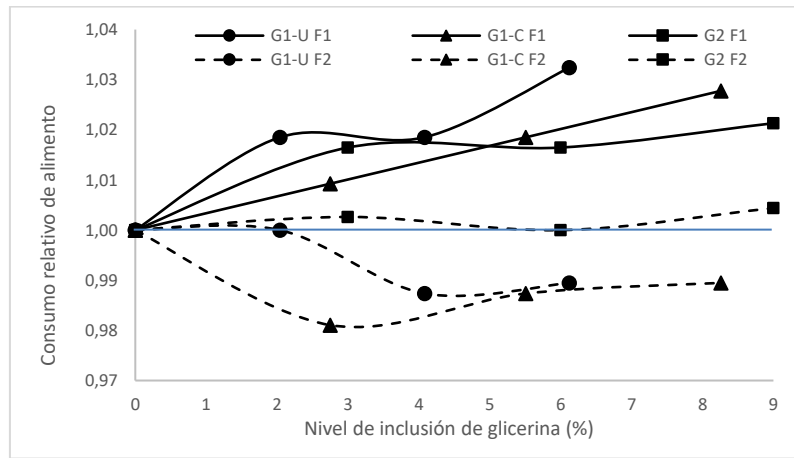
P1: pollos experimento 1, P2: pollos experimento 2, G1-U PP: gallinas experimento 1 glicerina USP, fase previa a la postura, G1-C PP: gallinas experimento 1 glicerina cruda, fase previa a la postura y G2 PP: gallinas experimento 2, fase previa a la postura

La disminución en el consumo de alimento ha sido reportada durante la primera semana de vida por Mandalawi et al. (2014), correspondiendo a una tendencia lineal, y por Jung y Batal (2011b) en niveles de 5% de glicerina cruda, y para el ciclo completo en niveles del

10%, por problemas de flujo de alimento en los comederos (Cerrate et al., 2006). Por otra parte, Guerra et al. (2011) para el ciclo completo de pollos de engorde y Silva et al. (2012) y Cerrate et al. (2006), para pollitos en las primeras semanas de vida, reportaron un incremento lineal en el consumo de alimento (0.9, 5.9 y 3.6% más de alimento consumido en los trabajos de Guerra et al. (2011), Silva et al. (2012) y Cerrate et al. (2006), respectivamente), que otros autores han asociado a un aumento en la palatabilidad de las dietas (Romano et al., 2014; Min et al., 2010). Sin embargo, en otros trabajos no se observó efecto de la inclusión de glicerina sobre el consumo de alimento durante el ciclo completo (Bernardino et al., 2014; Pereira et al., 2015; Silva et al., 2012).

La tendencia lineal observada en el consumo de alimento durante la etapa previa al inicio de la postura se mantuvo durante la fase temprana de producción de ponedoras marrón en los dos experimentos, siendo más notoria en las aves del experimento 1, que fueron alimentadas con glicerina USP (figura 7-5). Después del pico de postura el efecto de la inclusión de glicerina sobre el consumo de alimento desapareció en los dos experimentos, e incluso se observó una reducción ($p > 0.05$) entre el 1 y el 2% en el consumo de alimento en el experimento 1, ensayo en el que las aves recibieron glicerina durante menor cantidad de tiempo (aproximadamente 4.5 semanas); mientras que el experimento 2, no se observó tal reducción en el consumo y las aves consumieron dietas con glicerina durante 9 semanas aproximadamente. Por lo anterior se puede decir que la estimulación del consumo previo al inicio de la postura logró mantener un mayor consumo hasta la semana 28 de edad, pero ese efecto tendió a desaparecer después del pico de postura y podría estar relacionado con el tiempo de suministro de glicerina previo al inicio de la etapa productiva.

Figura 7-5: Consumo relativo de alimento de ponedoras marrón de acuerdo con la inclusión de glicerina en las dietas



G1-U F1: gallinas experimento 1 glicerina USP hasta el pico de postura, G1-C F1: gallinas experimento 1 glicerina cruda hasta el pico de postura, G2 F1: gallinas experimento 2, glicerina cruda hasta el pico de postura, G1-U F2: gallinas experimento 1 glicerina USP desde el pico hasta la semana 42 de edad, G1-C F2: gallinas experimento 1 glicerina cruda desde el pico hasta la semana 42 de edad, G2 F1: gallinas experimento 2, desde el pico hasta la semana 40 de edad

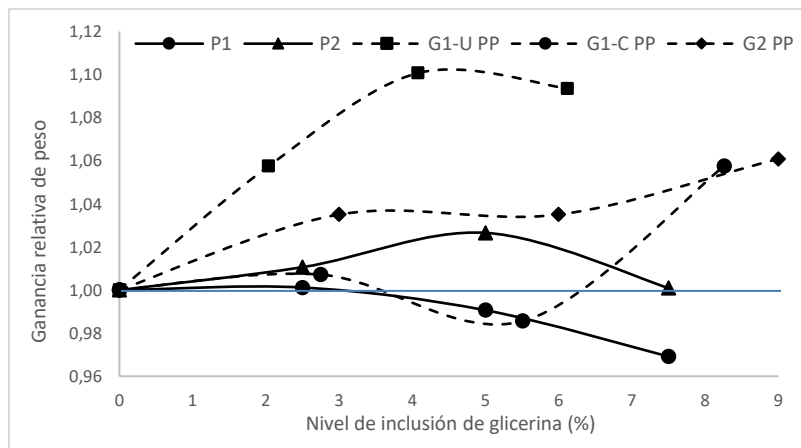
En los experimentos con gallinas ponedoras, el suministro de dietas con glicerina ocurrió solo hasta el 50% de postura (entre la semana 22 y 23 de edad), por lo cual, como se mencionó previamente, es difícil comparar con trabajos reportados en la literatura, ya que estos evalúan la respuesta directa del suministro durante el tiempo de consumo y no se encuentran reportes que mencionen el efecto de arrastre de consumos previos de glicerina. Sin embargo, se puede mencionar que el sabor dulce de la glicerina puede estimular el consumo de alimento (Min et al., 2010), tal como ocurrió en la fase inicial de la postura, similar a lo reportado en la literatura (Fontinele et al. 2017; Suchy et al., 2012). Sin embargo, en otros estudios la inclusión de este coproducto no ha afectado la ingesta de alimento de gallinas ponedoras (Mandalawi et al., 2015; Boso et al., 2013; Swiatkiewicz y Koreleski, 2009; Cufadar et al., 2016; Kanbur et al., 2017) o codornices en postura (Erol et al., 2009; Ghayas et al., 2017).

- **Ganancia de peso en pollos y pollitas de levante y respuesta en postura de gallinas de huevo marrón**

Similar a la tendencia observada en el consumo de alimento en pollos de engorde y pollitas al final del levante, la mayoría de las respuestas en la ganancia de peso fueron similares

o superiores a aquellas registradas por el tratamiento control, siendo menor para los pollos de engorde que recibieron, durante el periodo de restricción, una dieta con más de 2.5% de glicerina USP o las pollitas que recibieron una dieta con 5.5% de glicerina cruda (6% de aporte de EM de la dieta) (figura 7-6). La utilización de glicerina cruda en altos niveles (8.3 o 9.0%) en las dietas del final del levante tendió ($p < 0.1$) a incrementar en 6% la ganancia de peso de las pollitas, mientras que en pollo de engorde la utilización de dietas con 7.5% de glicerina cruda no mostró diferencia frente al tratamiento control, exhibiendo una tendencia contraria a la observada en pollitas en levante. Por otro lado, la utilización de dietas con glicerina USP en la fase de transición de gallinas ponedoras incrementó la ganancia de peso en más de 5.8%. De esta manera, se puede concluir que la utilización de glicerina en altas concentraciones en las dietas de pollitas en la fase final de levante tiende a incrementar la ganancia de peso, mientras que en pollo de engorde disminuye la respuesta en crecimiento, asociada al bajo consumo de alimento.

Figura 7-6: Ganancia de peso relativa de pollos de engorde y pollas en la fase final del levante de acuerdo con la inclusión de glicerina en las dietas



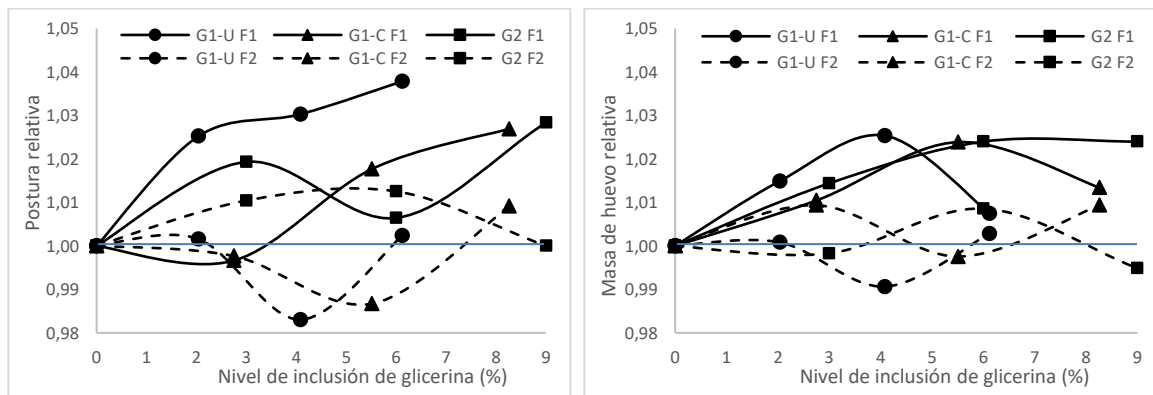
P1: pollos experimento 1, P2: pollos experimento 2, G1-U PP: gallinas experimento 1 glicerina USP fase previa a la postura, G1-C PP: gallinas experimento 1 glicerina cruda fase previa a la postura y G2 PP: gallinas experimento 2 fase previa a la postura

El incremento de peso del 2.7%, que fue observado en pollos de engorde cuando se usó glicerina cruda después de una restricción alimenticia y de alrededor del 6.0% en pollitas al final de la fase de levante usando glicerina cruda, fue menor al que han reportado en pollos de engorde cuando se ha encontrado efecto positivo de la inclusión de este coproducto, el cual ha sido de 7% al utilizar de 4 a 8% de glicerina hasta el día 21 de edad

(Topal y Ozdogan, 2013), de 10% al incluir de 3.3 a 10% de glicerina durante la tercera semana de vida (McLea et al., 2011), de 12% cuando se utilizó 5% de glicerina durante la cuarta semana de edad (Sehu et al., 2012) y de 15% al usar de 4 a 8% de glicerina del día 7 al 14 (Abd-Elsamee et al., 2010). Pero, por otro lado, cuando se compara con la respuesta de las pollitas que consumieron dietas con glicerina USP, es similar, indicando que los límites observados en este estudio son coherentes, a pesar de que las pollitas en la fase final del levante se encuentran en un momento lejano al punto de inflexión de la curva de crecimiento y por lo mismo su potencial de crecimiento es bajo.

La utilización de dietas con glicerina en la fase de transición de gallinas ponedoras mejoró la respuesta productiva en forma lineal hasta la semana 28 de edad, medida a través del porcentaje de postura y la masa del huevo (figura 7-7). La anterior respuesta presentó una mayor diferencia (en cinco casos mayor a 2.5%) para la variable porcentaje de postura respecto a la masa del huevo, lo que indica que se observó la compensación entre número y el peso de los huevos. Después del pico de postura, no se encontraron diferencias en las variables, lo que indica la finalización del efecto de arrastre durante el periodo de transición. Además, las aves del tratamiento control ajustaron el consumo, presentando una postura similar a la observada en los otros grupos experimentales.

Figura 7-7: Postura y masa relativa de huevos de ponedoras marrón en función a la inclusión de glicerina en las dietas



G1-U F1: gallinas experimento 1 glicerina USP, hasta el pico de postura, G1-C F1: gallinas experimento 1 glicerina cruda, hasta el pico de postura, G2 F1: gallinas experimento 2, hasta el pico de postura, G1-U F2: gallinas experimento 1 glicerina USP, desde el pico hasta la semana 42 de

edad, G1-C F2: gallinas experimento 1 glicerina cruda, desde el pico hasta la semana 42 de edad, G2 F1: gallinas experimento 2, desde el pico hasta la semana 40 de edad

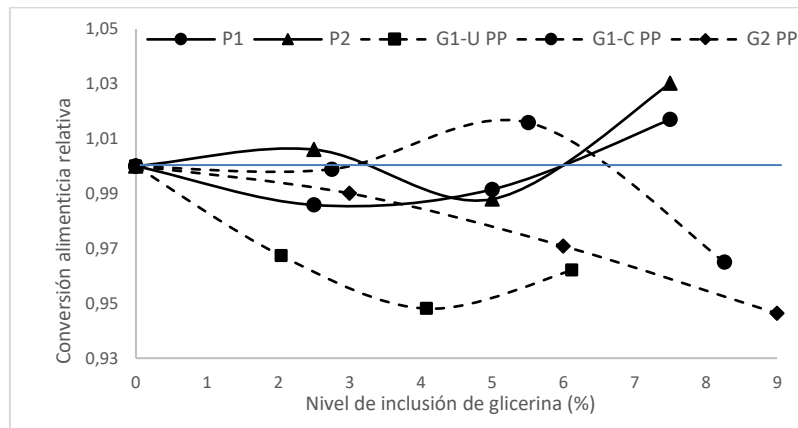
El incremento en la postura inicial ($p < 0.05$), relacionado con el consumo de glicerina en los dos experimentos, obedece a un incremento ($p < 0.05$) en el consumo de alimento y un mayor peso corporal de las aves que consumieron glicerina durante la fase de transición, siendo éstos los dos aspectos claves que inciden directamente en la respuesta productiva durante el periodo de postura (Sujatha & Rajini, 2015; Summers, 1993; de Beer y Coon, 2007; Gous, 2014; Leeson y Summers, 2000; Lazaro y Mateos, 2008). En el trabajo de Fontinele et al. (2017), las gallinas que consumieron dietas con 10% de glicerina cruda pusieron 6% más huevos que las aves del grupo control y en el de Boso et al. (2013), el porcentaje de postura se incrementó linealmente con el consumo de glicerina, respuestas que fueron relacionadas con el incremento en el consumo de alimento. En otros trabajos que han evaluado la inclusión de glicerina en las dietas de gallinas ponedoras no se ha observado efecto sobre el porcentaje de postura o la masa del huevo (Duarte et al., 2014; Cufadar et al., 2016; Mandalawi et al., 2015; Yalcin et al., 2010), similar a lo encontrado después del pico de postura en los dos ensayos. De esta manera se infiere que el porcentaje de postura y la masa del huevo pueden ser modulados a través del mejoramiento en el aporte de nutrientes antes del pico de producción, lo que define la importancia de generar esquemas de manejo alimenticio específicos para las diferentes fases de producción.

- **Conversión alimenticia de pollos y gallinas ponedoras**

En pollos de engorde la utilización de dietas con 7.5% de glicerina durante la restricción alimenticia o durante la fase de realimentación afectó negativamente la eficiencia de uso del alimento, respuesta contraria a la observada en pollitas durante la fase final del levante, en donde la utilización de dietas con glicerina USP o con más de 6% de glicerina cruda mejoró la conversión alimenticia, en por lo menos 3% (figura 7-8). La forma de la respuesta a la inclusión de diferentes niveles de glicerina en pollos de engorde corresponde generalmente a un patrón cuadrático que ha sido justificado desde la existencia de un nivel de saturación celular, por arriba del cual el excedente de glicerol permanece en la sangre hasta que es excretado vía renal (Romano et al., 2014), este valor es cercano al 7.5% y es

superior a los óptimos registrados en otros trabajos, como el 6.7% McLea et al. (2011), 3.9% de Avellaneda et al. (2009a) o 5.0% de Sehu et al. (2012).

Figura 7-8: Conversión alimenticia relativa de pollos de engorde y pollas en la fase final del levante en función a la inclusión de glicerina en las dietas



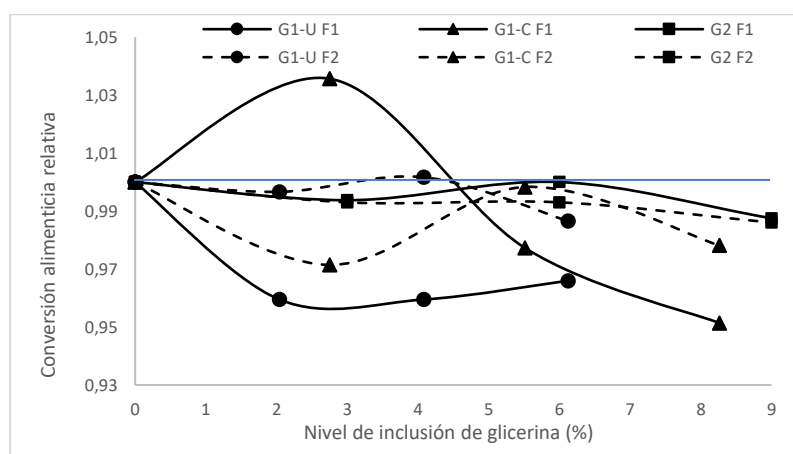
P1: pollos experimento 1, P2: pollos experimento 2, G1-U PP: gallinas experimento 1 glicerina USP, fase previa a la postura, G1-C PP: gallinas experimento 1 glicerina cruda, fase previa a la postura y G2 PP: gallinas experimento 2, fase previa a la postura

El margen de respuesta en conversión alimenticia encontrado en los experimentos con pollos de engorde es menor al reportado en otros trabajos de investigación, ya que McLea et al. (2011) señalan que el uso de dietas con 6.7% de glicerina mejora la conversión alimenticia en un 11%, mientras que Jung y Batal (2011b) indican que la inclusión de 10% glicerina mejora este parámetro en 6%. Sin embargo, Mandalawi et al. (2014) concluyen que el uso de glicerina entre 2.5 y 10% reduce en 2% la conversión de alimento durante la fase de pre-iniciación.

La conversión alimenticia por docena de huevos fue similar o numéricamente menor ($p > 0.05$) que la observada en el grupo control en la mayoría de los tratamientos en donde se incluyó glicerina, excepto cuando se usó glicerina cruda para aportar 3% de EM de la dieta en la fase previa al pico de postura (figura 7-9). A pesar de que no se presentaron diferencias ($p > 0.05$) asociadas al tipo de glicerina en el experimento 1 de gallinas, se observó que la disminución en la conversión alimenticia, con respecto al control, lo

registraron los grupos alimentados con glicerina USP en la fase de transición, durante la postura temprana (más de 3.5% de mejora en la eficiencia de uso del alimento). A nivel general se considera que la conversión alimenticia no es afectada por la inclusión de glicerina en las dietas, ya que los incrementos en postura se correlacionan con aumentos en consumo de alimento (Fontinele et al., 2017), aunque algunos autores reportan que ninguna variable fue afectada por el consumo de glicerina (Boso et al., 2013; Duarte et al., 2014; Swiatkiewicz y Koreleski; 2009).

Figura 7-9: Conversión alimenticia relativa por docena de huevo de gallinas ponedoras marrón en función a la inclusión de glicerina en las dietas



G1-U F1: gallinas experimento 1 glicerina USP, hasta el pico de postura, G1-C F1: gallinas experimento 1 glicerina cruda, hasta el pico de postura, G2 F1: gallinas experimento 2, hasta el pico de postura, G1-U F2: gallinas experimento 1 glicerina USP, desde el pico hasta la semana 42 de edad, G1-C F2: gallinas experimento 1 glicerina cruda, desde el pico hasta la semana 42 de edad, G2 F1: gallinas experimento 2, desde el pico hasta la semana 40 de edad

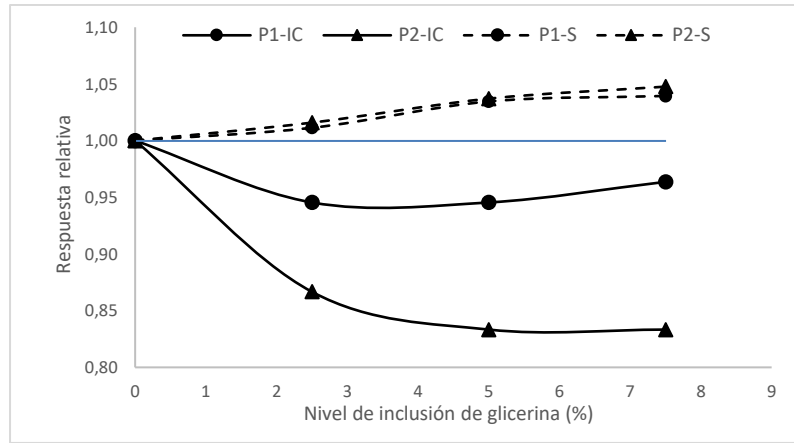
- **Respuesta fisiológica de pollos y gallinas ponedoras**

En pollos de engorde sometidos a una restricción energética temprana, la inclusión de glicerina USP en las dietas de iniciación o de glicerina cruda en las dietas de engorde redujo linealmente ($p < 0.05$) la mortalidad y la hipertrofia del ventrículo derecho (figura 7-10). La tendencia para la variable supervivencia es similar en los dos ensayos, sin embargo, la reducción en el peso del ventrículo derecho fue mayor en el experimento 2, cuando se usó glicerina cruda en la fase de engorde, y podría estar relacionada con la cercanía al momento de evaluación del índice cardíaco (día 42 de edad). La hipertrofia

ventricular derecha se relaciona con una presión metabólica sobre el sistema cardiorrespiratorio (Boostani et al., 2010) que disminuye cuando se restringe el crecimiento a través de la restricción alimenticia (Bölükbaşı et al. 2005) y se evidenció en los experimentos de restricción alimenticia. Contrario a lo mencionado anteriormente, la utilización de glicerina cruda en el experimento 2 promovió el crecimiento de los pollos en la fase de engorde, pero redujo el tamaño del ventrículo derecho, lo que sería comparable a los beneficios reportados en humanos tras utilizar glicerol: disminución de la tasa cardíaca, incremento en el llenado cardíaco y mantenimiento en el volumen plasmático (Anderson et al., 2001; Coutts et al., 2002; Easton et al., 2007; Goulet et al., 2008). Trabajos que reporten valores de supervivencia en pollos de engorde durante un ensayo de alimentación con glicerina son escasos. Fernandes et al. (2010), concluyen que la utilización de glicerina en dietas hasta el 8% no afectó la supervivencia de los pollos, sin embargo, ese ensayo no fue realizado en condiciones de altitud, en donde la baja presión de oxígeno genera hipertensión arterial pulmonar (Burton y Smith, 1967) y desencadena una mortalidad alta (Vásquez y Hernández, 2012).

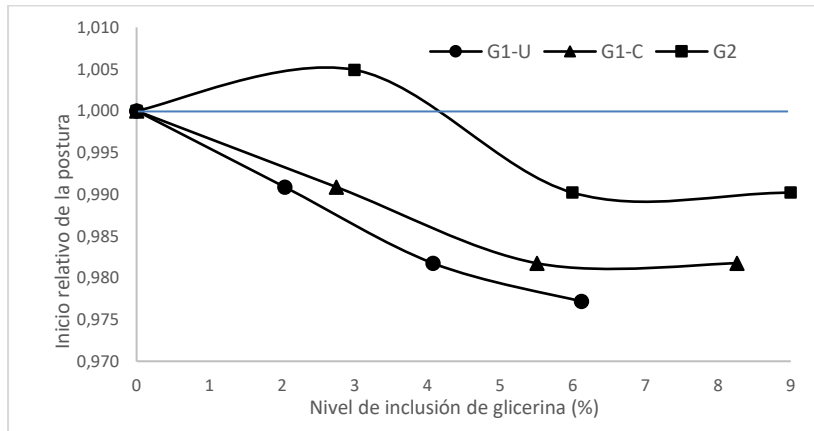
El tiempo al inicio de la postura se vio linealmente afectado por la inclusión de glicerina en las dietas de la fase de transición en los dos experimentos con gallinas ponedoras (figura 11), debido posiblemente a la mayor ganancia de peso ($p < 0.05$) de los grupos alimentados con glicerina antes del inicio de la postura. No se encontraron reportes de uso de glicerina en el final de la fase de levante que evalúen el tiempo al inicio de la postura, sin embargo, las investigaciones concluyen que el tiempo a la puesta del primer huevo está fuertemente relacionado con el peso corporal de la pollita (Leeson y Summers, 2000; Lacin et al., 2008; Summers et al., 1987). Esta respuesta indica la necesidad de desarrollar estrategias que promuevan la ganancia de peso de la polla durante la fase de levante, resultando en la disminución del tiempo a la madurez sexual de las aves.

Figura 7-10: Índice cardiaco (IC) y supervivencia (S) relativa de pollos de engorde alimentados con dietas que contenían diferentes niveles de glicerina



P1: pollos experimento 1, P2: pollos experimento 2

Figura 7-11: Tiempo al inicio de la postura relativo de gallinas ponedoras alimentadas con dietas que contenían diferentes niveles de glicerina durante el periodo de transición

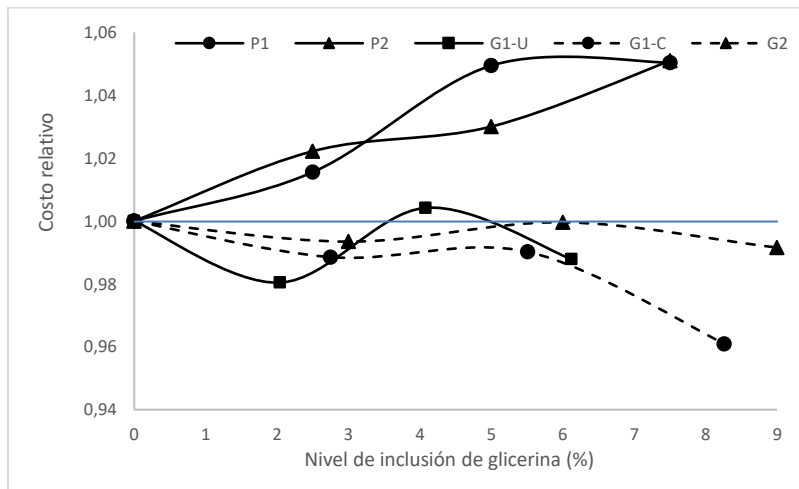


G1-U: gallinas experimento 1 glicerina USP, G1-C: gallinas experimento 1 glicerina cruda, G2 F1: gallinas experimento 2

- **Dinámica económica de la inclusión de glicerina en dietas de pollos de engorde y gallinas ponedoras**

El costo parcial (alimento más pollito de un día) de pollos de engorde alimentados con glicerina USP durante una restricción alimenticia temprana se incrementó linealmente hasta llegar a 5%, debido principalmente al precio de la glicerina refinada, tendencia similar a la observada cuando se alimentó con dietas que contenían glicerina cruda, correspondiente a un incremento en el consumo de alimento y para el grupo 7.5%, un aumento en la conversión alimenticia (figura 7-12). Por su parte, el costo de producción por docena de huevos se mantuvo ($p>0.05$) con respecto al control en los dos experimentos, pero las aves alimentadas con 8.3% de glicerina cruda (9% de aporte de energía) en el experimento uno, registraron una reducción del 3.9% en los costos.

Figura 7-12: Costo de producción parcial relativo de pollos de engorde y gallinas ponedoras marrón en función a la inclusión de glicerina en las dietas



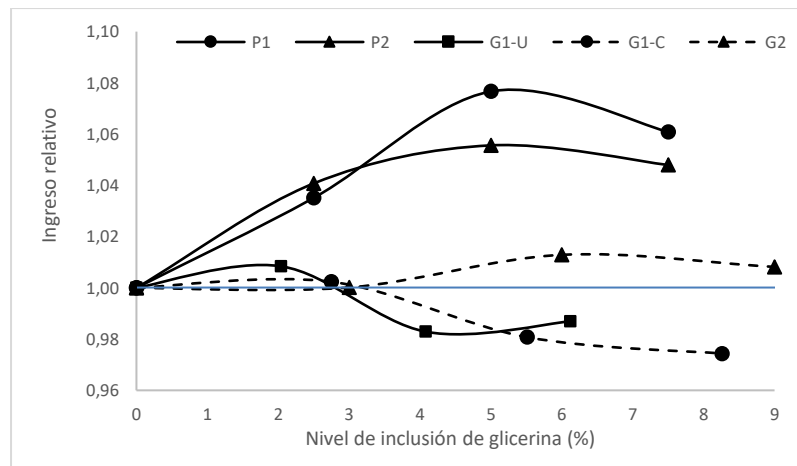
P1: Pollos experimento 1, P2: Pollos experimento 2, G1-U gallinas experimento 1 glicerina USP, G1-C gallinas experimento 1 glicerina cruda y G2: gallinas experimento 2

En el trabajo desarrollado por Abd-Elsamee et al. (2010), encontraron una respuesta cuadrática de la inclusión de glicerina cruda sobre el costo de producción de pollo de engorde, dado el efecto cuadrático de los tratamientos sobre el consumo de alimento, con un mínimo entre 4 y 6%. Por otro lado, Batista et al. (2013), utilizando glicerina semipurificada (96.5% de materia seca y 3585 kcal EB/kg), encontraron que la inclusión

de este recurso afectó negativamente los costos de producción de codornices de engorde, debido al precio de la glicerina, pero cuando ese mismo grupo de investigación utilizó glicerina bruta (94.5% de materia seca y 5429 kcal EB/kg), encontraron una reducción lineal en los costos de producción, ya que el precio de esta glicerina equivalía al 70% del precio del maíz (Pasquetti et al., 2014).

El ingreso por venta de pollo en pie no fue afectado ($p>0.05$) por la inclusión de glicerina USP durante una restricción alimenticia energética. Sin embargo, los pollos alimentados con 5% de glicerina USP tuvieron, numéricamente, 7.7% mayor ingreso, en virtud de la mayor ($p<0.1$) supervivencia observada (figura 13). Por otra parte, el ingreso en el experimento 2, con pollos, aumento cuadráticamente con la inclusión de glicerina cruda en las dietas. En las gallinas ponedoras del experimento 2, la tendencia a un mayor ingreso ($p<0.1$) durante la primera fase de postura (datos no mostrados) se mantuvo por el resto del periodo evaluado, aunque no fue estadísticamente diferente ($p>0.05$).

Figura 7-13: Ingreso relativo de pollos de engorde y gallinas ponedoras marrón en función a la inclusión de glicerina en las dietas

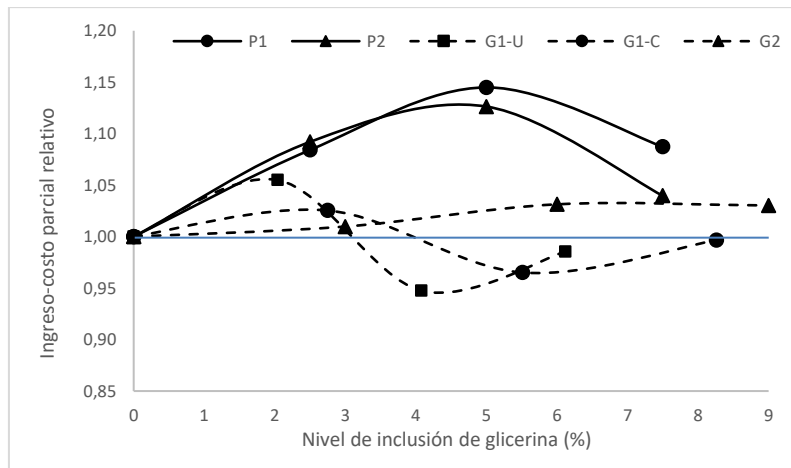


P1: Pollos experimento 1, P2: Pollos experimento 2, G1-U gallinas experimento 1 glicerina USP, G1-C gallinas experimento 1 glicerina cruda y G2: gallinas experimento 2

La utilidad bruta tras la inclusión de glicerina en las dietas de pollos de engorde en torno a una restricción alimenticia y en las dietas de transición de ponedoras se presenta en la

figura 7-14. En pollos de engorde la utilización de glicerina durante la restricción energética temprana o en la fase de realimentación registró una tendencia cuadrática con un máximo estimado para 4.5% de inclusión de glicerina, mientras que en gallinas ponedoras la inclusión de 4.1% de glicerina USP en las dietas de transición redujo en 5.3% la utilidad bruta.

Figura 7-14: Ingreso – costo parcial relativo de pollos de engorde y gallinas ponedoras marrón en función a la inclusión de glicerina en las dietas



P1: Pollos experimento 1, P2: Pollos experimento 2, G1-U gallinas experimento 1 glicerina USP, G1-C gallinas experimento 1 glicerina cruda y G2: gallinas experimento 2

La eficiencia económica (utilidad) encontrada por Abd-Elsamee et al. (2010), para el grupo alimentado con dietas que contenían 6% de glicerina cruda fue 36% superior, comparada con el control, resultado que se asocia a un incremento significativo en la ganancia de peso corporal en el periodo del día 7 a 14 de edad y a un aumento numérico en esa misma variable en la fase final de evaluación, además, reportan un incremento del 11% en el grupo que recibió dietas con 4% de inclusión de glicerina cruda, similar al registrado para una inclusión del 5% en el presente trabajo. De igual manera, Pasquetti et al. (2014), presentan una evaluación económica favorable para el uso de glicerina bruta en dietas de codornices destinadas a la producción de carne, con un máximo para el 12% de inclusión de este coproducto. Sin embargo, la utilización de glicerina semipurificada, cuyo precio era 2.7 veces superior al precio del maíz, afectó los costos de producción e incidió

negativamente sobre el índice de eficiencia económica, el cual fue mínimo al 12% de inclusión de esta glicerina.

- Respuesta económica de la utilización de glicerina USP en la primera o última semana del ciclo de producción de pollos de engorde**

Debido a que en este experimento se evaluó solo un nivel de inclusión de glicerina (5%), la evaluación económica se realizó de manera aislada, sin tener en cuenta los otros estudios realizados. El resumen de algunos indicadores económicos evaluados para los efectos principales se presenta en la tabla 7-1. La utilización de glicerina USP en el agua de bebida o en el alimento de la primera semana de vida no afectó la evaluación económica, a pesar de que la utilidad bruta del tratamiento glicerina en agua fue casi 6% menor al tratamiento control. Contrariamente, la utilización de glicerina USP durante la última semana del ciclo productivo tendió ($p < 0.1$) a subir los costos de alimentación, por el precio de esta materia prima (\$3084 kg, 3.6 veces el precio del maíz) y por el aumento en el consumo de alimento observado, e incrementó ($p < 0.05$) en \$136 el ingreso por ave, pero al final generó una disminución numérica ($p > 0.1$) en la utilidad bruta. Adicionalmente, se encontró que el tiempo de retraso en el acceso al alimento de 16 horas, comparado con 8 horas, hizo que el ingreso por pollo fuera menor ($p < 0.05$).

Tabla 7-1: Balance económico de un ciclo productivo de pollos de engorde alimentados durante la primera semana de vida con glicerina USP en agua o en la dieta, luego de diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento y con glicerina USP en la dieta durante I

Factor experimental	Costo parcial (\$/ave)	(%)	Ingreso (\$/ave)	(%)	Utilidad bruta (\$/ave)	(%)
Retraso (h)						
8	4259		6445 a		2126	
16	4320	1.43	6298 b	-2.28	2038	-4.14
EEM	25.3		48.3		40.8	
Tratamiento						
Control	4287		6427		2139	
USP agua	4295	0.19	6274	-2.38	2016	-5.75
USP dieta	4322	0.82	6414	-0.20	2092	-2.20
EEM	31		59.1		49.9	
Glicerina finalización (%)						

Tabla 7-2: (Continuación)

0	4201 a		6304		2103	
5	4379 b	4.24	6440	2.16	2061	-2.04
EEM	25.3		48.3		40.8	
Efectos						
Tiempo	<u>0.0918</u>		0.0376		0.1388	
Oferta inicio	0.3707		0.1431		0.2185	
Tiempo*Oferta	0.6075		0.1893		0.1485	
Oferta final	0.0001		<u>0.0543</u>		0.4685	

Como la utilización de glicerina USP en la última semana de vida de los pollos de engorde afectó significativamente el consumo de alimento y ganancia de peso, se realizó una simulación que pretendió determinar el precio que deberá tener esta glicerina para generar una utilidad bruta positiva, resultado del ejercicio que se presenta en la tabla 7-2. Un precio relativo de la glicerina USP de hasta 2.26 veces el precio del maíz, no afecta la utilidad bruta del ejercicio, a pesar de incrementar el precio de las dietas, mientras que un precio de 1.50 veces genera una utilidad que es 2.21% mayor a la reportada para el grupo control. Estos resultados contrastan con el ejercicio inicial de parametrización a mínimo costo y con un ejercicio de determinación del precio sombra para la fase de engorde, en donde la glicerina USP debería tener un precio de 1.027 veces el precio del maíz para ser incluida en la fórmula, validando la premisa de que en las formulaciones se debe tener en cuenta la respuesta productiva de los animales (Goncalves et al., 2015; Guevara, 2004; Cerrate y Waldroup, 2009).

Tabla 7-3: Relación entre la utilidad bruta y el precio relativo de la glicerina USP durante la inclusión de este coproducto en la dieta de finalización de pollos de engorde

Tratamiento	Inclusión glicerina USP	Precio (glicerina USP/maíz)	Utilidad bruta (\$/ave)	% de cambio
Control	0		2104	
USP	5	4.07	2000	-4.92
	5	3.07	2057	-2.21
	5	2.26	2104	0.00
	5	2.07	2115	0.54
	5	1.50	2150	2.21

- **Optimización de la inclusión de glicerina en las dietas de pollos de engorde y gallinas ponedoras**

Con el propósito de integrar las respuestas significativas encontradas en los diferentes experimentos y evaluar la posibilidad de uso de diferentes glicerinas, se realizó un optimizador en plataforma Excel®, que incluyó una hoja de formulación con los ingredientes utilizados en los ensayos de alimentación de este trabajo y un componente de la respuesta productiva y el balance económico, para maximizar la utilidad bruta de un ciclo productivo.

En la matriz de formulación los precios de los diferentes ingredientes se relacionaron con respecto al precio del maíz, dejando un valor de 1 para este recurso. La energía de la dieta se estableció como una restricción con holgura hacia el lado derecho (mayor o igual al valor de referencia de la fase), para revisar la oportunidad de elaborar dietas con mayor contenido de energía. Por otro lado, las restricciones de mínima respuesta de los otros componentes nutricionales se definieron en función al resultado de energía de la fórmula, sobre una base estándar de formulación (ejemplo, restricción de lisina digestible: (resultado de concentración de EM de la dieta/Valor de restricción de energía) *valor de restricción mínimo de lisina), para aumentar proporcionalmente la restricción en caso de que la respuesta a la energía sea mayor a la restricción propuesta. Además, se utilizó el patrón de proteína ideal presentado en las tablas brasileñas para aves y cerdos (Rostagno, 2011). La función objetivo del ejercicio es la utilidad bruta (solo teniendo en cuenta los costos de alimentación). En sentido, cuando hubo efecto lineal o cuadrático de la inclusión de glicerina, las variables incluidas se predicen con la ecuación respectiva, de lo contrario se utiliza el promedio reportado en el ensayo. Además, cuando el valor de EM de la dieta cambia en la formulación, la conversión alimenticia respectiva se ajusta, siguiendo el concepto de que las aves consumen hasta llenar los requerimientos de energía.

- **Utilización de glicerina USP en la fase de iniciación de pollos de engorde**

Los costos de alimentación se calcularon con base en la conversión alimenticia y el precio de la dieta, mientras que el ingreso se calculó en función al peso corporal final que resulta

de integrar la ganancia de peso de cada fase, el porcentaje de supervivencia y el precio de venta del pollo en pie (relacionado con el precio del maíz) o fraccionado, teniendo en cuenta el rendimiento en canal y el porcentaje de las fracciones (estimación del rendimiento en pechuga en el ensayo 1).

Las variables usadas en la optimización del uso de glicerina USP durante la fase de iniciación de pollos alimentados a voluntad o restringidos energéticamente se presentan en la tabla 7-3. Aunque los coeficientes de determinación fueron bajos, los valores de los coeficientes de regresión fueron significativos ($p < 0.05$) y solo para la ganancia de peso de la fase de iniciación la pendiente presentó tendencia ($p < 0.1$). Los valores de inclusión de glicerina en las dietas en donde se optimiza la respuesta productiva, cuando la tendencia es cuadrática, fueron similares y cercanos a 3.5%.

Tabla 7-4: Parámetros (error estándar) de las ecuaciones de predicción de la respuesta productiva en función a la inclusión de glicerina del experimento 1, glicerina USP en pollos de engorde

Fase	Variable	B ₀	B ₁	B ₂	Óptimo	R ²
Iniciación	Ganancia de peso (g/d)	28.3 ^{ns} (0.43)	-0.109 ⁺ (0.094)			0.028
	Conversión (g/g)	1.59 ⁺ (0.01)	0.0065 ⁺ (0.0026)			0.116
Engorde	Conversión (g/g)	1.936 ⁺ (0.02)	-0.034 ⁺ (0.013)	0.0047 ⁺ (0.0017)	3.61%	0.154
Ciclo	Supervivencia (%)	92.6 ^{**} (0.90)	0.526 ^{**} (0.193)			0.139
	Pechuga (%)	35.7 ^{**} (0.29)	0.359 ⁺ (0.185)	-0.053 ⁺ (0.023)	3.38%	0.058

^{ns} No significativo; ⁺ $p < 0.1$; ^{**} $p < 0.05$

A pesar del costo de la glicerina USP, cuyo precio sombra en el ejercicio inicial de optimización a mínimo costo hacia ver difícil la inclusión en dietas para pollo de engorde, ahora, desde la maximización de la utilidad bruta, se hace viable su uso con valores cercanos a 4% de inclusión (tabla 7-4). Lo anterior también denota la importancia del efecto de arrastre de la fase de iniciación sobre la fase de engorde, donde ocurre el mayor consumo de alimento, sobre el impacto económico de la actividad.

Tabla 7-5: Maximización de la utilidad bruta con el uso de glicerina USP en las dietas en el experimento 1, con pollos de engorde

Precio relativo de la glicerina USP	Inclusión	Utilidad bruta venta pie	Utilidad bruta venta en fracciones
	0	3.96	5.85
4.70	3.21	4.05	
3.70	3.76	4.08	
2.70	4.31	4.12	
4.70	3.51		6.05
3.70	3.81		6.09
2.70	4.10		6.12

○ **Utilización de glicerina cruda en la fase de ceba de pollos de engorde**

Las variables usadas para correr la optimización, en donde se evaluó la inclusión de glicerina cruda en la fase de engorde, luego de la restricción alimenticia, se presentan en la tabla 7-5. Nuevamente, los coeficientes de determinación son muy bajos, dada la existencia de otros factores experimentales (por ejemplo, uso de aminogut®) no incluidos en el análisis. Sin embargo, en la mayoría de los casos los coeficientes son significativos o presentan tendencia. En este ensayo se observó mayor disparidad en los óptimos estimados (1.45% de diferencia en la inclusión de glicerina). Además, se observó una tendencia similar a la reportada en el ensayo anterior para la variable supervivencia.

Tabla 7-6: Parámetros (error estándar) de las ecuaciones de predicción de la respuesta productiva en función a la inclusión de glicerina del experimento 2, glicerina cruda en pollos de engorde

Fase	Variable	B ₀	B ₁	B ₂	Óptimo	R ²
Engorde	Ganancia de peso (g/d)	68.5** (0.82)	0.929* (0.440)	-0.109* (0.046)	4.26%	0.068
	Conversión (g/g)	1.923** (0.026)	-0.018 ^{ns} (0.014)	0.0032* (0.0015)	2.81%	0.141
Ciclo	Supervivencia (%)	95.26** (1.43)	0.383** (0.255)			0.028

^{ns} No significativo; * p<0.1; † p<0.05

La inclusión de glicerina en las dietas de la fase de engorde que permite maximizar la rentabilidad en el ciclo de producción de pollo de engorde es cercana al 5% independientemente del precio, y permite, en teoría, lograr incrementos en la rentabilidad entre el 5.7 y 7.6%, comparados con la utilización de dietas sin glicerina (tabla 7-6).

Tabla 7-7: Utilidad bruta maximizada con el uso de glicerina en las dietas en el experimento 2, glicerina cruda con pollos de engorde

Precio relativo de la glicerina	Inclusión	Utilidad bruta venta pie
	0	3.82
1.00	4.75	4.04
0.75	5.12	4.07
0.50	5.49	4.11

○ **Utilización de glicerina cruda en la fase de transición de gallinas ponedoras marrón**

Para realizar el balance económico en gallinas ponedoras se tuvo en cuenta el consumo de alimento de la fase de prepostura y prepico, que contenía glicerina y el consumo de alimento de la semana 22 a la 27, así como el porcentaje de postura de las primeras 8 semanas. De esta manera, la optimización buscó maximizar la utilidad bruta durante la primera fase de la postura, con el ingreso por venta de huevos de acuerdo con una distribución promedia en las diferentes categorías y los costos por alimentación de la semana 17 a la 27, lo anterior debido a que después de la semana 27 no se observaron diferencias significativas en ninguna variable. Los parámetros de las diferentes ecuaciones de regresión lineal se presentan en la tabla 7-7. En esta oportunidad, la pendiente relaciona no la inclusión del recurso en la formulación sino el aporte de energía de esta, para coincidir con la forma en que se llevaron a cabo los análisis estadísticos. Aunque los coeficientes de determinación fueron muy bajos, los valores de los coeficientes de regresión fueron significativos ($p < 0.05$).

Tabla 7-8: Parámetros (error estándar) de las ecuaciones de predicción de la respuesta productiva en función al aporte energético de la glicerina del experimento 1, glicerina USP o cruda en gallinas ponedoras marrón

Fase	Variable	B ₀	B ₁	R ²
Prepostura	Consumo de alimento (g/d)	82.3** (0.42)	0.180* (0.078)	0.141
Prepico	Consumo de alimento (g/d)	95.2** (0.37)	0.297** (0.067)	0.326
Semana 22-27	Consumo de alimento (g/d)	112.5** (0.45)	0.344** (0.076)	0.338
Semana 20-27	Postura (%)	59.5** (0.752)	0.200* (0.125)	0.126

^{ns} No significativo; * p<0.1; † p<0.05

La inclusión de glicerina USP en las dietas de la fase de transición no es viable para mejorar la rentabilidad, si vale más de 1.22 veces lo que el maíz amarillo (precio actual cercano a 4 veces el precio del maíz amarillo), en cuyo caso el nivel de inclusión permitirá un aporte de energía de la dieta 3.57% (tabla 7-8), pero se lograría un incremento en la utilidad bruta de 1.1%. Por otra parte, si la glicerina cruda llega a costar lo mismo que el maíz amarillo no deberá ser incluida en las formulaciones de las dietas de prepostura y prepico, mientras que por debajo de 0.92 del precio del maíz su inclusión, cercana al 2%, mejora levemente la rentabilidad. Con un precio relativo del 75% del precio del maíz, la inclusión de glicerina superó la superficie de exploración evaluada, por lo cual se incluyó otra restricción (máximo 9% de aporte de energía), lo que al final se tradujo en un incremento del 4.6% en la rentabilidad.

Tabla 7-9: Maximización de la utilidad bruta con el uso de glicerina en las dietas en el experimento 1, con gallinas ponedoras marrón

Precio relativo de la glicerina USP	Precio relativo de la glicerina cruda	Inclusión	Aporte de energía (%)	Utilidad bruta venta huevos
		0	0	0.87
1.70		0	0	0.87
1.22		2.43	3.57	0.88
	1.00	0	0	0.87
	0.92	1.91	2.11	0.88
	0.75	16.61	18.42	0.92
	0.75	8.11	9.00	0.91

7.2 Conclusiones

7.2.1 Uso de la glicerina en pollos de engorde

- El consumo de dietas con glicerina, durante (glicerina USP) o después (glicerina cruda) de una restricción energética temprana, no promueve una respuesta compensatoria en los pollos de engorde, asociado posiblemente a que la duración de la restricción fue muy larga (16 días) o el tiempo de compensación no fue suficiente (21 días).
- El consumo de glicerina USP durante la fase de iniciación, independiente del consumo de energía, causa un efecto regulador de la temperatura corporal retrasando el tiempo al que esta se estabiliza, además, la utilización de dietas con 5 o 7.5% de glicerina USP, durante la fase de iniciación, en pollos alimentados a voluntad, disminuye la hipertrofia ventricular, lo que supone una mejor adaptación a las condiciones de altitud.
- La conversión alimenticia y el rendimiento en pechuga de pollos de engorde, sometidos o no a una restricción alimenticia temprana, se mejoran con inclusiones de glicerina cercanas al 4% de glicerina USP.
- La inclusión de glicerina cruda durante la fase de engorde disminuye el esfuerzo cardíaco sobre el corazón de los pollos de engorde, lo que se refleja en un menor valor de la relación VD/PTV.
- La ganancia de peso de pollos de engorde alimentados con dietas que contienen 5.0% de glicerina cruda, luego de ser sometidos o no a una restricción alimenticia temprana, es mayor que la de los pollos alimentados sin glicerina.
- La utilización de dietas que contienen 5% de glicerina USP, hasta el día 7 de edad, mejora la ganancia de peso de la primera semana en pollos de engorde sometidos a diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento.

- La utilización de glicerina USP en las dietas de la última semana del ciclo de producción incrementa la ganancia de peso de los pollos de engorde, asociado a una promoción en el consumo de alimento, derivada posiblemente de una mejoría en la palatabilidad de las dietas en harina, sin embargo, este incremento en productividad genera mayor mortalidad en los pollos de engorde.

7.2.2 Uso de la glicerina en gallinas ponedoras

- Las pollitas marrones alimentadas, durante el final de la recría o el levante, con glicerina cruda o USP tienden a consumir más alimento y ganar más peso al final de la fase de recría.
- Las gallinas de postura que reciben dietas con 6.12 de glicerina USP u 8.26% de glicerina cruda durante la fase de transición, consumen más alimento y ponen más huevos en los dos primeros meses de producción.
- La altura de la albumina de los huevos de las gallinas que consumen dietas con glicerina USP es mayor que de las que consumen glicerina cruda.
- Las aves que consumen dietas con alta inclusión de glicerina pausan menos días, lo que les permite poner más huevos en un determinado periodo de tiempo.

7.2.3 Otros factores experimentales evaluados en pollos de engorde

- Los pollos de engorde restringidos energéticamente durante la fase de iniciación depositan más grasa abdominal que los pollos de engorde alimentados a voluntad.
- Los pollos de engorde restringidos energéticamente registran una menor conversión alimenticia al final de ciclo de producción.

- La relación ventrículo derecho a peso total ventricular (VD/PTV) fue disminuida por la implementación de una restricción alimenticia.
- La utilización de aminogut® durante la fase de iniciación (día 1 al 21 de edad) incrementa la longitud de las vellosidades del duodeno y mejora la respuesta productiva en esa fase.
- Los pollos de engorde sometidos a 16 horas de retraso en el acceso al alimento, comparado con aquellos que tardan 8 horas, presentan una mayor deshidratación al finalizar el tiempo de retención.
- Los pollos de engorde sometidos a 16 horas de retraso en el acceso al alimento, comparado con aquellos que tardan 8 horas, consumen más agua, registran una peor conversión alimenticia y son más heterogéneos hasta el día 7 de edad.
- Los pollos de engorde sometidos a 16 horas de retraso en el acceso al alimento, comparado con aquellos que tardan 8 horas, ganan menos peso hasta el día 21 de edad.
- La carne de la pechuga de los pollos de engorde sometidos a 16 horas de retraso en el acceso al alimento, comparado con aquellos que tardan 8 horas, tiene menos pérdidas por goteo.

7.2.4 Otros factores experimentales evaluados en gallinas ponedoras

- Las pollitas marrones que reciben dietas con baja energía durante la etapa de recría consumen más alimento, ganan menos peso corporal y tienen una menor conversión alimenticia.
- Las pollitas alimentadas con dietas bajas en energía durante la fase de transición consumen más alimento, ponen huevos más livianos y presentan una mayor conversión alimenticia durante la fase inicial de la postura.

- Las gallinas alimentadas con dietas bajas en energía durante la fase de transición consumen más alimento y ponen más huevos después del pico de postura.
- El peso corporal a la semana 13 de edad afecta el desempeño productivo de las gallinas ponedoras hasta la semana 40 de edad.
- La utilidad bruta tiende a ser mayor en las aves alimentadas con dietas altas en energía debido a que el costo por alimentación fue menor.
- Durante la etapa de recría las aves que recibieron dietas bajas en energía consumieron 1.6 g/a/d más ($p<0.05$) de alimento, ganaron 0.4 g/a/d menos ($p<0.05$) de peso corporal y registraron una menor ($p<0.05$) conversión alimenticia.

7.3 Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede recomendar para la industria avícola del trópico alto colombiano la utilización de glicerina USP en inclusiones cercanas al 5% en la dieta, durante la primera o última semana de vida o durante la fase de iniciación para mejorar el desempeño de los pollos de engorde. Además, se recomienda el uso de dietas con el 5% de glicerina cruda durante la fase de engorde.

Se recomienda suministrar dietas con glicerina durante la fase de transición de gallinas ponedoras marrón, para promover el consumo de alimento y así aumentar el porcentaje de postura antes del pico.

7.3.1 Estudios en pollos de engorde

- Evaluar la inclusión de glicerina en sistemas de producción de pollo de engorde en condiciones de estrés calórico.

- Determinar el efecto del consumo de glicerina antes o durante el transporte de pollos de engorde, previo al sacrificio.
- Evaluar el suministro de glicerina durante el transporte de pollos de engorde recién eclosionados teniendo en cuenta el tiempo del trayecto y el momento de nacimiento de los pollos en la ventana de eclosión.
- Probar la utilización de dietas con glicerina en sistemas de restricción alimenticia durante menos tiempo (7 días).
- Medir el efecto de la utilización de glicerina durante una restricción alimenticia temprana sobre el desarrollo y actividad de la microestructura intestinal.
- Evaluar el efecto de la utilización de dietas con glicerina durante una restricción alimenticia en el periodo final de crecimiento.
- Estudiar el efecto de la inclusión de glicerina en pollos de engorde sometidos a diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento y restringidos durante la fase inicial del periodo de crecimiento.
- Estudiar la interacción entre algunos aditivos funcionales (tipo aminogut® o aceites esenciales) y la inclusión de glicerina en las dietas.
- Validar los resultados de los ejercicios de optimización en diferentes escenarios de producción de pollo de engorde.
- Evaluar la utilización de dietas bajas en proteína con diferentes inclusiones de glicerina cruda.
- Estudiar la utilización de glicerina en pollos de engorde de lento crecimiento.
- Evaluar la utilización de glicerina en el agua de bebida de pollitos recién eclosionados en concentraciones mayores a las evaluadas.

- Medir el efecto de una hiperhidratación (suministro forzado de agua y glicerol) en pollitos de un día con diferentes tiempos de retraso en el acceso al alimento.

7.3.2 Estudios en ponedoras

- Estudiar la inclusión de glicerina en las dietas de iniciación de pollitas marrón.
- Estudiar la inclusión de glicerina en las dietas de gallinas ponedoras no comerciales.
- Evaluar la utilización de dietas con diferentes niveles de glicerina durante la fase de transición sobre la acumulación de reservas corporales en pollitas.
- Repetir los ensayos realizados con ponedoras en pollitas blancas, incrementado el tiempo de evaluación a 52 semanas de producción.

Bibliografía

AAFCO Association of American Feed Control Officials. 2016. Midyear meeting agenda book', Wild Dunes Resort, Isle of Palms, South Carolina, January 18-20. 1-28.

Abd-Elsamee M, Abdo Z, Manylawi M and Salim I. 2010. Use of crude glycerin in broiler diets. Egyptian Poultry Science. 30(1): 281-295.

Abed F, Karimi A, Sadeghi G, Shivazad M, Dashti S and Sadeghi-Sefidmazgi A. 2011. Do broiler chicks possess enough growth potential to compensate long-term feed and water deprivation during the neonatal period? South African Journal of Animal Science. 41(1): 33-39.

Abioja MO, Sodipe OG, Abiona JA, Oladipo KA, Kasali OD, Akerele Z, Ola A, Oke H, Ogundele O and Osinowo OA. 2014. Thermotolerance acquisition in broiler chickens through early feed restriction: response to acute heat stress. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. 37(3): 311-319.

Adeleye OO, Otakoya IO, Fafiolu AO, Alabi JO, Egbeyale LT and Idowu OMO. 2018. Serum chemistry and gut morphology of two strains of broiler chickens to varying interval of post hatch feeding. Veterinary and Animal Science. 5: 20-25.

Alemayehu K and Sisay T. 2017. The paradox of exotic versus indigenous chicken population dynamics and distribution pattern in Ethiopia: Review. Journal of Applied Animal Science. 10(1): 9-24.

Alexandratos N and Bruisma J. 2012. World agriculture towards 2030/2050, the 2012 revision. ESA Working Paper No. 12-03. Rome, FAO. p. 147.

Alkan S, Karsli T, Karabağ K, Galiç A. 2013. The effects of selection and season on clutch traits and egg production in japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*) of different lines. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 8(1): 71-77.

Altahat E, AL-Sharafat A and Altarawneh M. 2012. Factors affecting profitability of layer hens enterprises. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 7(1): 106-113.

Anderson M, Cotter J, Garnham A, Casley D and Febbraio M. 2001. Effect of glycerol-induced hyperhydration on thermoregulation and metabolism during exercise in heat. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 11(3): 315–33.

Ariza C, Afanador G, Avellaneda Y, Mejía G, Mayorga O, García G, Pérez C, Ordóñez C, Rubiano A, Ramos Y, Ortiz R, Malagon K, Montañés D, Loaiza A, Reina A, Téllez L y Rodríguez S. 2012. Glicerina y subproductos del biodiesel, alternativa energética para alimentación de aves y cerdos. *Simbiosis, Ciencia y Publicidad*, Bogotá, Colombia, p. 1-27.

Avellaneda Y, Hernández J, Ariza C y Afanador G. 2008. Efecto de la suplementación de L-glutamina y L-glutamato (Aminogut®) sobre el crecimiento temprano de pollos de engorde. *Revista de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 55: 77-90.

Avellaneda Y, Rodríguez D, Afanador G and Ariza C 2009a. Efecto de la inclusión de glicerina cruda sobre el desempeño productivo de hembras de pollos de engorde en la Sabana de Bogotá. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 22: 3.

Avellaneda Y, Cifuentes D, Afanador G and Ariza C. 2009b. Effect of technical grade glycerin on the performance of brown laying hens at high altitude. *Poultry Science*. 89, E-Supplement 1: 94.

Avellaneda Y, Pérez C, Ariza-Nieto C and Afanador G. 2011. Valor de energia metabolizável de glicerina crua de óleo de palma em frangos de corte. 48° Reunião da Sociedade Brasileira de zootecnia. Belem-PA, 18-21 de julho de 2011.

Avellaneda Y, Ortiz R, Afanador G and Ariza-Nieto C. 2013. Utilization of high levels of crude glycerin in comercial layer diets. *Journal of Animal Science*, E-Supplement 2.

AVINESP. 2014. Modelo de predição de crescimento e exigências nutricionais. UNESP, Software, Jaboticabal-SP, Brasil.

Azis A, Abbasb H, Heryandib Y and Kusnadib E. 2011. Compensatory growth and production efficiency of broiler chickens exposed to feeding time restriction. *Media Peternakan*. 50-57.

Baião N, Lara L. 2005. Oils and Fat in Broiler Nutrition. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 7(3): 129 – 141.

Barteczko J and Kaminski J. 1999. The effect of glycerol and vegetable fat on some physiological indices of the blood and excess of fat in broiler carcasses. *Annals Warsaw Agricultural University Animal Science*. 36: 197-209.

Bartell S and Batal A. 2007. The effect of supplemental glutamine on growth performance, development of the gastrointestinal tract, and humoral immune response of broilers. *Poultry Science*. 86: 1940-1947.

Batal AB and Parsons CM. 2002. Effect of fasting versus feeding Oasis after hatching on nutrient utilization in chicks. *Poultry Science*. 2002. 81: 853-859.

Batista E, Furlan AC, Ton APS, Pasquetti TJ, Quadros TCO, Grieser DO and Zancanela V. 2013. Avaliação nutricional da glicerina vegetal semipurificada para codornas de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 65(6): 783-1791.

Bednarczyk M, Kiedzewski K and Szwaczkowski T. 2000. Genetic parameters of the traditional selection traits and some clutch traits in a commercial line of laying hens*. *Archiv fur Geflugelkunde*. 64(3): 129 – 133.

Benyi K, Acheompong-Boateng O and Norris D. 2011. Effect of strain and different skip-a-day feed restriction on growth performance of broiler chickens. *Tropical Animal Health and Production*. 43: 871-876.

Bernardino V, Borges P, Fonseca R, Minati E, Makiyama L, Silva R, de Oliveira D and Januzzi L. 2015. Sources and levels of glycerin for broilers from 22 to 35 days. *African Journal of Agricultural Research*. 10(11): 1259-1265.

- Beserra V A, Cesar A S and Peres AAC. 2016. Adocao da glicerina bruta na dieta animal e seu impacto no produto final. *Archivos de Zootecnia*. 65(250): 259-266.
- Bhanja SK, Devi CA, Panda AK and Sunder GS. 2009. Effect of post hatch feed deprivation on yolk-sac utilization and performance of young broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2009. 22(8): 1174-1179.
- Bigot K, Mignon-Grasteau S, Picard M and Tesseraud S. 2003. Effects of delayed feed intake on body, intestine, and muscle development in neonate broilers. *Poultry Science*. 82(5): 781-788.
- Bölükbası S, Aktas M and Güzel M. 2005. The effect of feed regimen on ascites induced by cold temperatures and growth performance in male broilers. *International Journal of Poultry Science*. 4(5): 326-329.
- Boostani A, Ashayerizadeh A, Manmoodian F and Kamalzadeh A. 2010. Comparison of the effects of several feed restriction periods to control ascites on performance, carcass characteristics and hematological indices of broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 12(3): 171-177.
- Bordignon G, Lima HJD, Martins RA and Fonseca MM. 2017. Niveis de glicerina bruta na racao de suinos nas fases de crescimento e terminacao. *Archivos de Zootecnia*. 66(255): 429-432.
- Boso KMO, Mukarami CRA, Nascimento GR, Matumoto-Pintro PT and Ospia-Rojas IC. 2013. Fatty acid profile, performance and quality of eggs from laying hens fed with crude vegetable glycerine. *International Journal of Poultry Science*. 12(6): 341-347.
- Brake JD, Chamblee TN, Schultz CD, Peebles ED and Thaxton JP. 1992. Daily feed and water consumption of broiler chicks from 0 to 21 days of age. *The Journal of Applied Poultry Research*. 1(2): 160-163.
- Brody T. 1999. Regulation of energy metabolism. Second Edition, Academic Press, Nutritional Biochemistry, Berkeley, California, p. 214.

Bruisma J. 2003. World agriculture towards 2015/2030, An FAO perspective. Earthscan Publications Ltd. London, FAO. p. 432.

Burton RR and Smith AH. 1967. Effect of polycythemia and chronic hypoxia on heart mass in the chicken. *Journal of Applied Physiology*. 22(15): 782-785.

Butzen FM, Ribeiro AML, Vieira MM, Kessler AM, Dadalt JC and Della MP. 2013. Early feed restriction in broilers. I—Performance, body fraction weights, and meat quality. *Journal of Applied Poultry Research*. 22: 251–259.

Cankaya C, Ocak N and Sungu M. 2008. Canonical correlation analysis for estimation of relationships between sexual maturity and egg production traits upon availability of nutrients in pullets. *Asian-Australian Journal of Animal Science*. 21(11): 1576-1584.

Carole M, Claire L and Pierre A. 2009. Impact de l'utilisation de glycerine sur les performances des Poulets de 1 a 35 Jours' Huitièmes Journées de la Recherche Avicole. St Malo, 25 et 26 mars.

Cengiz O, Koksall BH, Tatli O, Sevim O, Avci H, Epikmen T, Beyaz D, Buyukyoruk S, Boyacioglu M, Uner A and Onol AG. 2012. Influence of dietary organic acid blend supplementation and interaction with delayed feed access after hatch on broiler growth performance and intestinal health. *Veterinari Medicina*. 57(10): 515–528.

Cerrate S, Yan F, Wang Z, Coto C, Sacakli P and Waldroup P. 2006. Evaluation of glycerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers', *International Journal of Poultry Science*. 6(11): 1001-1007.

Cerrate S and Waldroup P. 2009. Maximum profit feed formulation of broilers: 1. development of a feeding. program model to predict profitability using non linear programming. *International Journal of Poultry Science*. 8 (3): 205-215.

Christensen VL. 2009. Development during the first seven days post-hatching. *Avian Biology Research*. 2:27-33.

Chung YH, Rico DE, Martinez CM, Cassidy TW, Noirot V, Ames A. 2007. Effects of feeding dry glycerin to early postpartum Holstein dairy cows on lactational performance and metabolic profiles. *Journal of Dairy Science*. 90: 5682–5691.

Ciriminna R, Della Pina C, Rossi M and Pagliaro M. 2014. Understanding the glycerol market. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 116(10): 1-8.

Classen H. 2017. Diet energy and feed intake in chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 233: 13–21.

Coutts A, Reaburn P, Mummery K, Holmes M. 2002. The effect of glycerol hyperhydration on olympic distance triathlon performance in high ambient temperatures. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 12(1):105-119.

Cufadar Y, Göçmen R and Kanbur G. 2016. The effect of replacing soya bean oil with glycerol in diets on performance, egg quality and egg fatty acid composition in laying hens. *Animal*. 10(1): 19–24.

da Silva MC, Vieira RGM, Rodrigues KF, da Silva GF, Sousa LF, Rodrigues FL, Alves CF, Augusto WF, Pereira I and de Sousa L. 2017. Effects of purified glycerin in balanced diets of chicken broilers treated from 22 to 42 days of age. *Ciências Agrárias, Londrina*. 38(4): 2083-2090.

Dai, SF, Gao, F, Zhang, WH, Song, SX, Xu, XL and Zhou, GH 2011 'Effects of dietary glutamine and gamma-aminobutyric acid on performance, carcass characteristics and serum parameters in broilers under circular heat stress' *Animal Feed Science and Technology*. 168, 51-60.

DANE. 2013. Alimentos completos balanceados en la nutrición de las aves de corral. *Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA*. 7: 1-9.

de Beer M, and Coon CN. 2007. The effect of different feed restriction programs on reproductive performance, efficiency, frame size, and uniformity in broiler breeder hens. *Poultry Science*. 86: 1927–1939.

Delgado, R, Latorre, JD, Vicuña, E, Hernandez-Velasco, X, Vicente, JL, Menconi, A, Kallapura, G, Layton, S, Hargis, BM and Téllez G. 2014. Glycerol supplementation enhances the protective effect of dietary Flora Max-B11 against Salmonella Enteritidis colonization in neonate broiler chickens. *Poultry Science*. 93: 2363–2369.

dePersio S, Utterback PL, Utterback CW, Rochell SJ, Sullivan NO, Bregendahl K, Arango J, Parsons CM, Koelkebeck KW. 2015. Effects of feeding diets varying in energy and nutrient density to Hy-Line W-36 laying hens on production performance and economics. *Poultry Science*. 94: 195–206.

Devi-Priya K, Selvaraj P, Nanjappan K, Jayachandran S, Visha P. 2010. Oral supplementation of putrescine and L-glutamine on the growth performance, immunity, intestinal enzymes in the broiler chickens. *Tamilnadu Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 6:250-254.

Dibner J, Kitchell M, Atwell C and Ivey F. 1996. The Effect of Dietary Ingredients and Age on the Microscopic Structure of the Gastrointestinal Tract in Poultry. *Journal Applied Poultry Research*. 5: 70-77.

Doneen BA and Smith TE. 1982. Ontogeny of endocrine control of osmoregulation in chick embryo. II. Actions of prolactin, arginine vasopressin, and aldosterone. *General and Comparative Endocrinology*. 48, 310– 318.

Dozier III, WA, Kerr, BJ and Branton, SL. 2011. Apparent metabolizable energy of crude glycerin originating from different sources in broiler chickens. *Poultry Science*. 90:2528–2534.

Dozier III, WA, Kerr BJ, Corzo A, Kidd M, Weber T and Bregendahl K. 2008. Apparent metabolizable energy of glycerin for broiler chickens. *Poultry Science*. 87: 317–322.

Duarte CRA, Mukarami AE, Boso KMO, Eyng C, Ospina-Rojas IC and Matumoto-Pintro PT. 2014. Mixed crude glycerin in laying hen diets: live performance and egg quality and fatty acid profile. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 16(4): 351-8.

Easton C, Turner S and Pitsiladis Y. 2007. Creatine and glycerol hyper-hydration in trained subjects before exercise in the heat. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 17: 70–91.

El Rammouz R, Said S, Abboud M, Yammine S and Jammal B. 2011. Effect of post-hatch early feeding times starter supplemented with egg yolk and white of boiled chicken eggs (Rhod Island Red) on growth performance, viscera development, and immune response in broiler chickens. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 5(6): 660-671.

El-Husseiny OM, Abou El-Wafa S and El-Komy HMA. 2008. Influence of fasting or early feeding on broiler performance. *International Journal of Poultry Science*. 7(3): 263-271.

Emmans G. 1994. Effective energy: a concept of energy utilization applied across species. *British Journal of Nutrition*. 71: 801–821.

Emmanuel B, Berzins R and Robblee A. 1983. Rates of entry of alanine and glycerol and their contribution to glucose synthesis in fasted chickens. *British Poultry Science*. 4:565-71.

Erensayin C and Camci O. 2003. Effect of clutch size on egg production in Japanese quails. *Archiv Fur Geflugelkunde*. 67(1): 38–41.

Erol H, Yalçin S, Midilli M and Yalçin S. 2009. The effects of dietary glycerol on growth and laying performance, egg traits and some blood biochemical parameters in quails. *Revue de Médecine Vétérinaire*. 160(10): 469-476.

Fanooci M and Torki M. 2010. Effects of Qualitative Dietary Restriction on Performance, Carcass Characteristics, White Blood Cell Count and Humoral Immune Response of Broiler Chicks. *Global Veterinaria*. 4(3): 277-282.

FAO 2012 Biofuel co-products as livestock feed - Opportunities and challenges, edited by Makkar H. Rome, Italy. P. 533.

FAOSTAT. FAO statistical database. (available at. <http://faostat.fao.org/default.aspx>).

Faria PB, de Figueiredo CH, Lima RS, Nascimneto DB, Tavares JMN, Santos C, Guerra AMB, da Silva JL. 2013. Qualidade de carcaça e carne de frangos com uso de glicerina na alimentação. *Londrina*. 7(24), Ed. 247, Art. 1631.

Fedebiocombustibles 2017 'estadísticas de producción de Biodiesel' vista 22 de febrero.

FENALCE, 2016. <http://www.fenalce.org/nueva/index.php>

FENAVI. 2016. Consumo per cápita de pollo en Colombia. Estadísticas Fenavi. Disponible en:

http://www.fenavi.org/index.php?option=com_content&view=article&id=2160&Itemid=556.

FENAVI. 2017. Huevo en cifras. En el 2017 el encasetamiento creció 7.5% y la producción de huevos 7.9%. El mayor registro de los últimos nueve años.

FENAVI. 2018. Pollo en cifras. En el 2017 alcanzó una tasa de crecimiento de 5.7%. 2018. Disponible en: <http://fenavi.org/centro-de-noticias/noticia-destacada-del-centro-de-noticias/pollo-en-cifras/>

Fernandes EA, Machado CA, Fagundes NS, França AMS y Ramos GC. 2010. Inclusão de glicerol purificado em dietas de frangos de corte. Anais do Prêmio Lamas, p: 1.

Fisher C, Wilson BJ. 1974. Response to dietary energy concentration by growing chickens. In: Morris, T.R., Freeman, B.M. (Eds.), Energy Requirements of Poultry. British Poultry Science Ltd., Edinburgh, United Kingdom. 151–184.

Fontinele GSP, Leite SCB, Cordeiro, CN, Goulart C, Costa, AC Neves JO and Silva JDB. 2017. Glycerin from biodiesel in the feeding of red-egg layers. Ciências Agrárias. 38(2): 1009-1016.

Freitas LW, Menten JFM, Zavarize KC, Pereira R, Romano GG, Lima MB and Dias CTS. 2017. Evaluation of dietary glycerin inclusion during different broiler rearing phases. Brazilian Journal of Poultry Science. Special Issue Nutrition / 091-096. 91-96.

Furlan RL y Macari M. 2002. Termorregulação. En Fisiologia Aviaria, aplicada a frangos de corte. Macari M. Editora Funep. Sao Paulo. Brasil, p. 375.

Gallego AG, Moreira I, Carvalho PLO, Perondi D, Pasquetti TJ and Piano-Gonçalves LM. 2016. Neutral semi-purified glycerin in growing and finishing pigs feeding. Italian Journal of Animal Science. 15(1): 87-93.

- Ghanem HM. 2014. Impact of breed and feed restriction on some productive and carcass traits in broiler chickens. *International Journal of Science and Research*. 3(12): 2745-2751.
- Ghayas A, Hussain J, Mahmud A, Javed K, Rehman A, Ahmad S, Mehmood S, Usman M, Ishaq HM. 2017. Productive performance, egg quality, and hatching traits of Japanese quail reared under different levels of glycerin. *Poultry Science*. 96: 2226–2232.
- Gianfelici M, Ribeiro A, Penz Jr A, Kessler A, Vieira M and Machinsky T. 2011. Determination of Apparent Metabolizable Energy of Crude Glycerin in Broilers Chickens. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 13(4): 255-258.
- Gilani S, Howarth GS, Tran CD, Kitessa SM, Forder REA, Barekataan R and Hughes RJ. 2018. Effects of delayed feeding, sodium butyrate and glutamine on intestinal permeability in newly hatched broiler chickens. *Journal of Applied Animal Research*. 46(1). 973-976.
- Gonçalves CA, Almeida MA, Faria-Júnior MJA, Pinto MF and Garcia-Neto M. 2015. Accuracy of nonlinear formulation of broiler diets: maximizing profits. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 17(2): 173-180.
- Gonzales E, Kondo N, Saldanha E, Loddy M, Careghi C and Decuypere E. 2003. Performance and physiological parameters of broiler chickens subjected to fasting on the neonatal period. *Poultry Science*. 82:1250-1256.
- Goulet E, Rousseau S, Lamboley C, Plante G and Dionne I. 2008. Pre-exercise hyperhydration delays dehydration and improves endurance capacity during 2h of cycling in a temperate climate. *Journal of Physiological Anthropology*. 27(5): 263–271.
- Gous RM. 2014. Modeling as a research tool in poultry science. *Poultry Science*. 93:1–7.
- Govaerts T, Room G, Buyse J, Lippens M, Groote G and Decuypere E. 2000. Early and temporary quantitative food restriction of broiler chickens. 2. Effects on allometric growth and growth hormone secretion. *British Poultry Science*. 41(3): 355-362.
- GPA. 1963. Physical properties of glycerine and its solutions. Glycerine Producers' Association. New York.

Gratta F, Birolo M, Xiccato G and Trocino A. 2017. Effect of genotype, gender, and feed restriction on slaughter results and meat quality of broiler chickens. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 82(3): 311-314.

Guerra RL, Murakami AE, Garcia AFQM, Urganani FJ, Moreira I and Picoli KP. 2011. Glicerina bruta mista na alimentação de frangos de corte (1 a 42 dias). *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*. 12(4): 1038-1050.

Guevara VR. 2004. Use of nonlinear programming to optimize performance response to energy density in broiler feed formulation. *Poultry Science*. 83(2):147-151.

Guzmán P, Saldaña B, Mandalawi H, Pérez-Bonilla A, Mateos GG. 2015. Productive performance of brown-egg laying pullets from hatching to 5 weeks of age as affected by fiber inclusion, feed form, and energy concentration of the diet. *Poultry Science*. 94:249–261.

Harms RH, Russell GB, Sloan DR. 2000. Performance of four strains of commercial layers with major changes in dietary energy. *Journal of Applied Poultry Research*. 9:535–541.

Henderson WR and Brubacher J. 2002. Methanol and ethylene glycol poisoning: A case study and review of current literature. *Canadian Journal of Emergency Medicine*. 4(1): 34-40.

Henz JR, Nunes RV, Eyng C, Pozza PC, Frank R, Schone RA and Oliceira TMM. 2014. Effect of dietary glycerin supplementation in the starter diet on broiler performance. *Czech Journal of Animal Science*. 12: 557-563.

Hibuse T, Maeda N, Nagasawa A and Funahashi T. 2006. Aquaporines and glycerol metabolism. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1754: 1004-1011.

Honikel KO and Hamm R. 1994. Measurement of water-holding capacity and juiciness. In *Quality Attributes and Their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products*. *Advances in Meat Research Series*, Ed. Pearson AM y Dutson TR. 9: 125-161

Jahanpour H, Seidavi A and Qotbi AA. 2014. Effects of intensity and duration of quantitative restriction of feed on broiler performance. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 65(2): 83-98.

Jalal MA, Scheideler SE, Pierson EM. 2007. Strain response of laying hens to varying dietary energy levels with and without Avizyme supplementation. *Journal of Applied Poultry Research*. 16: 289–295.

Jalal MA and Zakaria HA. 2012. The effect of quantitative feed restriction during the starter period on compensatory growth and carcass characteristics of broiler chickens. *Pakistan Journal of Nutrition*. 11(9). 817-822.

Jang IS, Kang SY, Ko YH, Moon YS and Sohn SH. 2009. Effect of quantitative feed restriction on growth performance and immune function in broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 22(3): 388-395.

Jazideh F, Farhoomand P, Daneshyar M and Najafi G. 2014. The effects of dietary glutamine supplementation on growth performance and intestinal morphology of broiler chickens reared under hot conditions. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*. 38: 264-270.

Jha R, Singh AK, Yadav S, Berrocoso JFD and Mishra B. 2019. Early Nutrition Programming (in ovo and Post-hatch Feeding) as a strategy to modulate gut health of poultry. *Frontiers in Veterinary Science*. 6: 1-10.

Jung B and Batal AB. 2011a. Nutritional and feeding value of crude glycerin for poultry. 2. Nutritional value of crude glycerin. *Journal of Applied Poultry Research*. 20:162–167.

Jung B and Batal AB. 2011b. Nutritional and feeding value of crude glycerin for poultry. 2. Evaluation of feeding crude glycerin to broilers. *Journal of Applied Poultry Research*. 20: 514–27.

Kanbur G, Cufadar Y, Göçmen R and Ünver A. 2017. Effects of dietary supplementation of glycerol on performance, egg quality and egg yolk fatty acid composition in laying hens. *Eurasian Journal of Food Science and Technology*. 1(2): 4-10.

Karlen D and Kerr B. 2012. Future testing opportunities to ensure sustainability of the Biofuels industry. *Communications in soil science and plant analysis*. 43(35): 43.

Kato T, Hayashi Y, Inoue K and Yuasa H. 2004. Function characterization of the carrier-mediated transport system for glycerol in everted sacs of the rat small intestine. *Biological Pharmacology Bulletin*. 27(11): 1826-1830.

Kavouras SA, Armstrong L, Maresh C, Casa D, Herrera-Soto J, Scheett TP, Stoppani J, Mack GW and Kraemer WJ. 2006. Rehydration with glycerol: endocrine, cardiovascular and thermoregulatory responses during exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*. 100(2):442-450.

Khajali, F, Heydary, Moghaddam, M, Hassanpour, H 2014 'An L- Arginine supplement improves broiler hypertensive response and gut function in broiler chickens reared at high altitude' *International Journal of Biometeorology*. Vol. 58, p. 1175–9.

Kim JH, Seo S, Kim CH, Kim JW, Lee BB, Lee G, Shin HS, Kim MC and Kil DY. 2013. Effect of dietary supplementation of crude glycerol or tallow on intestinal transit time and utilization of energy and nutrients in diets fed to broiler chickens. *Livestock Science* .154: 165-168.

Knothe G, Gerper JV and Krahl J. 2005. *The biodiesel handbook*, AOCS PRESS, Illinois

Lacin E, Yildiz A, Esenbuga N and Macit M. 2008. Effects of differences in the initial body weight of groups on laying performance and egg quality parameters of Lohmann laying hens. *Czech Journal of Animal Science*. 53(11): 466–471.

Lammers PJ, Kerr BJ, Honeyman MS, Stalder KJ, Dozier III WA, Weber TE, Kidd MT and Bregendahl K. 2008. Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy value of crude glycerol for laying hens. *Poultry Science*. 87: 104-107.

Lamot DM, van de Linde IB, Molenaar R, van der Pol CW, Wijtten PJA, Kemp B, van den Brand. 2014. Effects of moment of hatch and feed access on chicken development. *Poultry Science*. 93: 2604-2014.

Larivière J, Vandenheede M and Leroy P. 2009. Effects of food restriction on rearing performance and welfare of a slow-growing chicken breed: a behavioral approach. *International Journal of Poultry Science*. 8(7): 684-688.

Lázaro R, Mateus GG. 2008. Necesidades nutricionales para avicultura: Pollos de carne y aves de postura. FEDNA. p. 73.

Leeson S, Caston L, Summers JD. 1996. Broiler response to diet energy. *Poultry Science*; 75:529–535.

Leeson S, Caston L, Summers JD. 1997. Layer performance of four strains of leghorn pullets subjected to various rearing programs. *Poultry Science*. 76: 1–5.

Leeson S and Summers JD. 2000. Feeding systems for poultry. In: Theodorou MK and France J, editors. *Feeding systems and feed evaluation models*. CABI Publishing, UK. p. 211-237.

Leeson S, Summers J y Diaz G. 2000. *Nutrición Aviar Comercial*. Primera ed, Editorial Le´Print Club Express Ltda, Santafé de Bogotá, Colombia, p 359.

Leeson S and Summers JD. 2009. *Commercial Poultry Nutrition*. 3rd ed. Nottingham Univ. Press, Nottingham, U.K. p.398.

Leite RG, Corassa A, Ton APS, Komiyama CM, Amorim AB and Kiefer C. 2017. Glycerin levels while maintaining the electrolyte balance in finishing pig diets. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 46(3):211-217.

Lessard P, Lefrancois MR and Bernier JF. 1993. Dietary addition of cellular metabolic intermediates and carcass fat deposition in broilers. *Poultry Science*. 72: 535-545.

Lima EMC, Rodrigues PB, Alvarenga RR, Bernardino VMP, Makiyama L and Lima RR. 2013. The energy value of biodiesel glycerine products fed to broilers at different ages. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 97: 896–903.

Lin M, Romsos D and Leveille A. 1976. Effect of Glycerol on Lipogenic Enzyme Activities and on Fatty Acid Synthesis in the Rat and Chicken. *Journal of Nutrition*. 106: 1668-1677.

Lippens M, Delezie E, Maertens L and Huyghebaert G. 2009. Influence of feed texture and early quantitative feed restriction on performance, growth development and carcass composition of two broiler strains. *Archives für Geflügelkunde*. 73(1): 29–40.

Lippens M, Room G, DeGroot G and Decuypere E. 2000. Early and temporary quantitative food restriction of broiler chickens. I. Effects on performance characteristics, mortality and meat quality. *British Poultry Science*. 41(3): 343-354.

Lobley GE, Hoskin SO and Mcneil CJ. 2001. Glutamine in animal science and production. *Journal of Nutrition*. 131: 2525S-2531S.

Lokesha E, Marappan G, Ramasamy DK, Brijesh P, Banakar PS, Revanasiddu D, Pruthviraj DR, Bhanuprakash V, Mahesh MS. 2017. Crude glycerol: by-product of biodiesel industries as an alternative energy source for livestock feeding. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*. 5(6): 755-766.

Lopez S. 2008. Non-linear functions in animal nutrition. In: France J and Kebreab E editors. *Mathematical modelling in animal nutrition*. CABI, London, UK.

Luquetti BC, Fernandez MF, Lunedo R, Borges DM, Furlan RL and Macari M. 2016. Effects of glutamine on performance and intestinal mucosa morphometry of broiler chickens vaccinated against coccidiosis. *Scientia Agricola*. 73(4): 322-327.

Lyons T, Riedesel M, Meuli L and Chick T. 1990. Effects of glycerol induced hyperhydration prior to exercise in the heat on sweating and core temperature. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 22(4): 477–483.

Madrid J, Villodre C, Valera L, Orengo J, Martínez S, López M, Megías M and Hernández F. 2013. Effect of crude glycerin on feed manufacturing, growth performance, plasma metabolites, and nutrient digestibility of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*. 91(8): 3788-3795.

Makkar H. 2012. Biofuel co-products as livestock feed - Opportunities and challenges. FAO, Rome, Italy. p. 533.

Mandalawi HA, Lázaro R, Redón M, Herrera J, Menoyo D and Mateos GG. 2015. Glycerin and lecithin inclusion in diets for Brown egg-laying hens: Effects on egg production and nutrient digestibility. *Animal Feed Science and Technology*. 209: 145-56.

Mandalawi HA, Kimiaetalab MV, Obregon V, Menoyo D and Mateos GG. 2014. Influence of source and level of glycerin in the diet on growth performance, liver characteristics, and nutrient digestibility in broilers from hatching to 21 days of age. *Poultry Science*. 93: 2855-2863.

Marcato SM, Sakomura NK, Munari DP, Fernandes JBK, Kawauchi IM and Bonato MA. 2008. Growth and body nutrient deposition of two broiler commercial genetic lines. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 10(2): 117-123.

Martinez KLA, Leandro NSM, Café MB, Stringhini JH, Araújo ICS and Andrade MA. 2012. Suplementação de glutamina em dietas elaboradas com ingredientes de origen vegetal e animal para pintos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 64: 1707-1716.

Mateos GG and Sell JL. 1981. Metabolizable energy of supplemental fat as related to dietary fat level and method of estimation. *Poultry Science*. 60: 1509-1515.

McLea L, Ball M, Kilpatrick D and Elliott C. 2011. The effect of glycerol inclusion on broiler performance and nutrient digestibility. *British Poultry Science*. 52(3): 368-75.

McMillan I. 1981. Compartmental model analysis of poultry egg production curve. *Poultry Science*. 60:1549–1551.

McMurty J, Plavnik I, Rosebrough R, Steele N and Proudman J. 1988. Effect of early feed restriction in male broiler chicks on plasma metabolic hormones during feed restriction and accelerated growth. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 91(1): 67-70.

Meddings JB and Swain M. 2000. Environmental stress-induced gastrointestinal permeability is mediated by endogenous glucocorticoids in the rat. *Gastroenterology*. 119: 1019-1028.

Melin D, Jimenez C, Koulmann N, Allevard AM and Gharib C. 2002. Hyperhydration induced by glycerol ingestion: hormonal and renal responses. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 80: 526–532.

Min YN, Yan F, Liu FZ, Coto C and Waldrop PW. 2010. Glycerin-A new energy source for poultry. *International of Poultry Science*. 9(1): 1-4.

Min Y, Liu F, Wang Z, Coto C, Cerrate S, Costa F, Yan, F and Waldroup P. 2008. Evaluation of Distillers Dried Grains with Solubles in Combination with Glycerin in Broiler Diets. *International Journal of Poultry Science*. 7(7): 997-1000.

Moghaddam HN and Alizadeh-Ghamsari AH. 2013. Improved performance and small intestinal development of broiler chickens by dietary L-glutamine supplementation. *Journal of Applied Animal Research*. 41(1): 1-7.

Mohebodini H, Dastar B, Shams M and Zerehdaran S. 2009. The comparison of early feed restriction and meal feeding on performance, carcass characteristics and blood constituents of broilers chickens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 8(10): 2069-2074.

Molenaar R, Meijerhof R, van den Anker I, Heetkamp MJW, van den Borne JJGC, Kemp B and van den Brand H. 2010. Effect of eggshell temperature and oxygen concentration on survival rate and nutrient utilization in chicken embryos. *Poultry Science*. 89:2010–2021.

Montner P, Stark DM, Riedesel ML, Murata G, Robergs R, Timms M and Chick TW. 1996. Pre-exercise glycerol hydration improves cycling endurance time. *International Journal of Sports Medicine*. 17: 27–33.

Moraes PO, Ceron MS, Borille R, Gianluppi RDF, Lovato GD, Cardinal KM and Ribeiro AML. 2016. Effects of the addition of pure glycerin supplementation in the drinking water on the performance of broilers submitted to heat stress and feed restriction. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*. 18(3): 413-418.

Morón FO, Zamorano GL. 2003. Pérdida por goteo en diferentes carnes crudas. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 11(2): 125-127.

Mottet A and Tempio G. 2017. Global poultry production: current state and outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*. 73(2): 245-256.

Motulsky H, Christopoulos A. 2003. Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting. GraphPad Software Inc., San Diego, CA.

Murakami, AE, Fernandes, JIM, Hernandes, L, Santos, TC 2012 'Effects of starter diet supplementation with arginine on broiler production performance and on small intestine morphometry' *Pesquisa Veterinária Brasileira*. Vol. 32, p. 259–66.

Murray R, Granner D, Mayes P and Rodwell V. 2003. *Harper's Illustrated Biochemistry*, Twenty-Sixth Edition, McGraw-Hill.

Mushtaq M, Pasha T, Mushtaq T, Parvin R. 2013. Electrolytes, dietary electrolyte balance and salts in broilers: an updated review on growth performance, water intake and litter quality. *World's Poultry Science Journal*. 69(4):789-802.

Mutayoba SK, Katule AK, Minga U, Mtambo MM, Olsen J E. 2012. The effect of supplementation on the performance of free range local chickens in Tanzania. *Livestock Research for Rural Development*. 24: article 93.

Nemeth K, Zsedely E and Schmidt J. 2013. Nitrogen-corrected apparent metabolizable energy value of crude glycerol for laying hens. *Annals of Animal Science*. 13(4): 829–836.

Newsholme P, Procopio J, Ramos MM, Pithon-Curi TC and Curi R. 2003. Glutamine and glutamate—their central role in cell metabolism and function. *Cell Biochemistry and Function*. 21: 1–9.

Nielsen B, Litherland M and Nøddegaard F. 2003. Effect of qualitative and quantitative feed restriction on the activity of broiler chickens. *Applied Animal Behavior Science*. 83: 309–323.

Noy Y and Sklan D. 1995. Digestion and absorption in the young chick. *Poultry Science*. 74: 366-373.

Noy Y and Sklan D. 1998. Metabolic Responses to Early Nutrition. *Journal of Applied Poultry Research*. 7: 437-451.

Noy Y and Sklan D. 1999. Different types of early feeding and performance in chicks and poults. *Journal Applied Poultry Research*. 8:16-24.

Noy Y and Uni Z. 2010. Early nutritional strategies. *World's Poultry Science Journal*. 66: 639-646.

O'brien C, Freund A, Young J, Sawka M. 2005. Glycerol hyperhydration: physiological responses during cold-air exposure. *Journal of Applied Physiology*. 99(2):515- 521.

Oleoline. 2018. Glycerine market report, June 2018, No. 121. HBI Group.

Oliveira DD, Pinheiro JW, Oba A and Fonseca NAN. 2013. Desempenho de frangos de corte alimentados com glicerina pura. *Ciências Agrárias*. 34(6): 4083-4092.

Olivero R, del Puerto M, Felice A, Pittaluga A, Iriñiz J, Saadoun A and Cabrera MC. 2014. Efecto del glicerol en la dieta de gallinas ponedoras sobre los parámetros productivos y la calidad del huevo. V Congreso de la Asociación Uruguaya de Producción Animal (AUPA), Montevideo 3-4 diciembre de 2014.

Olubodun JO, Zulkifli I, Farjam AS, Hair-Bejo M and Kasim A. 2015. Glutamine and glutamic acid supplementation enhances performance of broiler chickens under the hot and humid tropical condition. *Italian Journal of Animal Science*. 14: 25-29.

Olukomaiya OO, Adeyemi OA, Sogunle OM, Abioja MO and Ogunsola IA. 2015. Effect of feed restriction and ascorbic acid supplementation on growth performance, rectal temperature and respiratory rate of broiler chicken. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 25(1): 65-71.

Omosebi DJ, Adeyemi OA, Sogunle MO, Idowu OMO and Njoku CP. 2014. Effects of duration and level of feed restriction on performance and meat quality of broiler chickens' *Archivos de Zootecnia*. 63(244): 611-621.

Otwinowska-Mindur A, Gumułka M, Kania-Gierdziewicz J. 2016. Mathematical models for egg production in broiler breeder hens. *Annals of Animal Science*. 16(4): 1185–1198.

Ozkan S, Takma C, Yahav S, Soğut B, Turkmüt L, Erturun H and Cahaner A. 2010. The effects of feed restriction and ambient temperature on growth and ascites mortality of broilers reared at high altitude. *Poultry Science*. 89: 974–985.

Pasquetti TJ, Furlan AC, Martins EN, Ton APS, Batista E, Pozza PC, Grieser DO and Zancanela V. 2014. Glicerina bruta para codornas de corte, de um a 14 e de 15 a 35 dias de idade. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 66(5): 1547-1556.

Pereira VM, Borges P, Fonseca RT, Minati E, Makiyama L, Silva R, de Oliveira DH and Januzzi L. 2015. Sources and levels of glycerin for broilers from 22 to 35 days. *African Journal of Agricultural Research*. 10(11): 1259-1265.

Pérez-Bonilla A, Novoa S, García J, Mohiti-Asli M, Frikha M, Mateos GG. 2012. Effects of energy concentration of the diet on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens differing in initial body weight. *Poultry Science*. 91: 3156–3166.

Perry GC. 2006. Avian gut function in health and disease. *Poultry science symposium series*; 28 Wallingford, UK. 30-43.

Petek M, Yilmaz E and Cibik R. 2007. Effect of first feed intake time on broiler performance and carcass traits. *Journal of Applied Animal Research*. 32(2): 203-206.

Pinheiro D, Cruz V, Sartori J and Paulino MV. 2004. Effect of early restriction and enzyme supplementation on digestive enzyme activities in broilers. *Poultry Science*. 83:1544-1550.

Plavnik I and Hurwitz S. 1991. Response of broiler chickens and turkey poults to food restriction of varied severity during early life. *British Poultry Science*. 32(2): 343–352.

Połtowicz K, Nowak J and Wojtysiak D. 2015. Effect of feed restriction on performance, carcass composition and physicochemical properties of the *m. pectoralis superficialis* of broiler chickens. *Annals of Animal Science*. 15(4): 1019-1029.

Porto, ML, Givisiez, PEN, Saraiva, EP, Costa, FGP, Moreira, Filho ALB, Andrade, MFS, Brandão, PA, Guerra, RR 2015 'Glutamic acid improves body weight gain and intestinal

morphology of broiler chickens submitted to heat stress' Brazilian Journal of Poultry Science. vol.17, no. 3, p. 355-62.

Potturi P, Patterson J and Applegate TJ. 2005. Effects of delayed placement on intestinal characteristics in Turkey poults. Poultry Science. 84: 816–824.

Ramos HAJ. 2005. Efecto del Método de Congelamiento sobre las Características Físicoquímicas y Organolépticas de la Carne de Pechuga de Pollo, (tesis de grado maestría) Universidad de Puerto Rico, ciencias Industria Pecuaria.

Retore M, Scapinello C, Mukarami AE, Araujo IG, Neto, BP, Felssner K, Sato J and Olivera AFG. 2012. Nutritional evaluation of vegetable and mixed crude glycerin in the diet of growing rabbits', Revista Brasileira de Zootecnia. 41(2): 333-340.

Ribeiro Jr V, Albino LFT, Rostagno HS, Hannas M, Ribeiro CLN, Vieira RA, de Araújo WAG, Pessoa GBS, Messias RKG and da Silva DL. 2015. Effects of Dietary L-Glutamine or L-Glutamine plus L-Glutamic Acid supplementation programs on the performance and breast meat yield uniformity of 42-d-old broilers. Brazilian Journal of Poultry Science. special issue. 93-98.

Romano GG, Menten JFM, Freitas LW, Lima MB, Pereira R, Zavarize KC, Dias CTS. 2014. Effects of glycerol on the metabolism of broilers FED increasing glycerine levels. Brazilian Journal of Poultry Science. 16(1): 97-106.

Rostagno H. 2011. Tablas Brasileñas para aves y cerdos', Tercera Edición, Viçosa, MG UFV, DZO, p. 259.

Roy BG, Kataria MC and Roy U. 2014. Study of oviposition pattern and clutch traits in a white Leghorn (WL) layer population. Journal of Agriculture and Veterinary Science. 7(1): 59-67.

Rubiano AM, Trujillo JM, Avellaneda Y, Ariza C and Afanador G 2011. Energia metabolizavel de tres tipos de glicerina en galinhas poedeiras. 48 Reuniao Anual da Sociedade Brasileira de zootecnia, Belen PA, 18-21 de Julho de 2011.

Saber SN. 2016. Effect of quantitative feed restriction on carcass characteristics and some blood parameters in broilers chickens. *International Research Journal of Biological Sciences*. 5(10): 1-6.

Sahraei M. 2013. Improvement production efficiency and carcass quality through feed restriction programs in broiler chickens. *Biotechnology in animal husbandry*. 29(2): 193-210.

Sakomura NK, Longo FA, Oviedo-Rondon EO, Boa-Viagen C & Ferraudo A. 2005. Modelling energy utilization and growth parameter description for broilers chickens. *Poultry Science*. 84: 1363-1369.

Saldaña B, Gewehra CE, Guzmán P, García J, Mateos GG. 2016. Influence of feed form and energy concentration of the rearing phase diets on productivity, digestive tract development and body measurements of brown-egg laying hens fed diets varying in energy concentration from 17 to 46wk of age. *Animal Feed Science and Technology*. 221: 87–100.

Saldaña B, Guzmán P, Cámara L, García J, Mateos GG. 2015. Feed form and energy concentration of the diet affect productive performance and digestive tract traits of brown-egg laying pullets from hatching to 17 weeks of age. *Poultry Science*. 94: 1879–1893.

Samiullah S, Roberts J and Chousalkar K. 2016. Oviposition time, flock age, and egg position in clutch in relation to brown eggshell color in laying hens. *Poultry Science*. 95: 2052–2057.

Santoso U. 2002. Effects of Early Feed Restriction on the Occurrence of Compensatory Growth, Feed Conversion Efficiency, Leg Abnormality and Mortality in Unsexed Broiler Chickens Reared in Cages. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 15(9): 1319-1325.

SAS Institute. 2008. SAS Users Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.

Savegnago RP, Cruz VAR, Ramos SB, Caetano SL, Schmidt GS, Ledur MC, El Faro L, Munari DP. 2012. Egg production curve fitting using nonlinear models for selected and nonselected lines of White Leghorn hens. *Poultry Science*. 91 :2977–2987

Sehu A, Kucukersan S, Coskun B, Koksai BH and Citil OB. 2012. Effects of dietary glycerol addition on growth performance, carcass traits and fatty acid distribution in cloacal fat in broiler chickens. *Revue de Médecine Vétérinaire*. 163(4): 194-200.

Sell J, Angel C, Piquer F, Mallarino E and Batshan HA. 1991. Developmental patterns of selected characteristics of the gastrointestinal tract of young turkeys. *Poultry Science*. 70: 1200-1205.

Sell J. 1996. Physiological Limitations and Potential for Improvement in Gastrointestinal Tract Function of Poultry. *Journal Applied Poultry Research*. 5: 96-101.

Shakeri M, Zulkufli I, Oskoueian E, Shakeri M, Oskoueian A and Ebrahimi M. 2016. Response to dietary supplementation of glutamine in broiler chickens subjected to transportation stress. *Journal of the Faculty of Veterinary Medicine Istanbul University*. 42(2): 122-131.

Sibbald IR, Summers JD and Slinger SJ. 1960. Factors affecting the metabolizable energy content of poultry feeds. *Poultry Science*. 39(3): 544–556.

Sibbald IR. 1982. Measurement of bioavailable energy in poultry feeding stuffs. *Canadian Journal of Animal Science*. 62(4): 983-1048.

Silva CLS, Menten JFM, Traldi AB, Pereira R, Zavarize KC and Santarosa J. 2012. Glycerine derived from biodiesel production as a feedstuff for broiler diets' *Brazilian Journal of Poultry Science*. 14(3): 193-202.

Silva MC, Vaz RGMV, Rodrigues KF, Stringhini JH, Souza LF, Fonseca FLR, Augusto WF and Bezerra LS. 2019a. Purified glycerin in balanced diets of broiler chickens treated from 1 to 42 days of age. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 48: 1-10.

Silva MC, Vaz RGMV, Rodrigues KF, Souza LF, Souza MS, Silva GF, Fonseca FLR, Ribeiro MC, Campos CGA and Bezerra LS. 2019b. Purified glycerin diets for broilers from 8 to 42 days old. *Ciencias Agrarias, Londrina*. 40: 843-854.

Silva VO, Lopes E, Andrade EF, Sousa RV, Zangeronimo MG and Pereira LJ. 2014. Uso de co-productos del biodiesel (Glicerol) como fuentes alternativas de energia em la

alimentación animal: uma revisão sistemática. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 46: 111-120.

Silva CLS, Menten JFM, Traldi, AB, Pereira R, Zavarize KC and Santarosa J. 2012. Glycerine derived from biodiesel production as a feedstuff for broiler diets. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 14(3): 193-202.

Simeon O. 2015. Effects of strain and feed restriction at starter phase on performance of broiler chickens in the humid tropics. *International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 2(1): 1-5.

Simon A, Bergner H and Schwabe M. 1996. Glycerol feed ingredient for broiler chickens. *Archives of Animal Nutrition*. 49: 103-112.

Skrzydłewska E. 2003. Toxicological and metabolic consequences of methanol poisoning. *Toxicology Mechanisms and Methods*. 13: 277-293.

Smith T and Makkar H. 2012. Utilization of co-products of the biofuel industry as livestock feeds – a synthesis', *FAO, Biofuel co-products as livestock feed*, Rome, Italy, pp. 501-2.

Soltan MA. 2009 Influence of dietary glutamine supplementation on growth performance, small intestinal morphology, immune response and some blood parameters of broiler chickens. *International Journal of Poultry Science*. 8: 60-68.

Sousa DC, Oliveira NLA, dos Santos ET, Barros LR, de Campos GJB. 2017. Avaliação macro e microscópica do trato digestório de frangos de corte alimentados com dieta contendo glicerina. *Comunicata Scientiae*. 8(1): 59-68.

Souza C, Nunes RV, Broch J and Wachholz L. 2017. Produção e utilização da glicerina bruta na alimentação de frangos de corte. *Archivos de Zootecnia*. 66(256): 619-627.

Suchy P, Strakova E, Kroupa L and Herzig I. 2012. The effect of replacing soybean oil with glycerol in feeding mixtures designed for utility layers on their production and state of health. *Archiv Tierzucht*. 2: 184-193.

Südekum K-H, Schröder A, Fiebelkorn S, Schwer R and Thalman A. 2008. Quality characteristics of pelleted compound feeds under varying storage conditions as influenced

by purity and concentration of glycerol from biodiesel production. *Journal of Animal Feed Science*. 17: 120–136.

Sujatha T and Rajini R. 2015. Transitional pullet feed and its significance at sexual maturity. *Indian Journal of Animal Research*. 49(1): 77-80.

Sujatha T, Rajini R and Prabakaranc R. 2014. Efficacy of pre-lay diet. *Journal of Applied Animal Research*. 42(1): 57-64.

Summers JD. 1993. Influence of prelay treatment and dietary protein level on the reproductive performance of white leghorn hens. *Poultry Science*. 72: 1705-1713.

Summers JD, Leeson S and Spratt D. 1987. Rearing early maturing pullets. *Poultry Science*. 66: 1750-1757.

Superintendencia de Industria y Comercio. 2012. Cadena Productiva del Maíz, Industrias de Alimentos Balanceados y Harina de Maíz. visto 22 de febrero.

Swiatkiewicz S and Koleski J. 2009. Effect of crude glycerin level in the diet of laying hens on egg performance and nutrient utilization. *Poultry Science*. 88: 615–619.

Talpaz H, Hurtwitz S, de la Torre J and Sharpe P. 1988. Economic optimization of a growth trajectory for broilers. *American Journal of Agricultural Economics*. 70(2): 382-390.

Thompson J and He B. 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks. *Applied Engineering in Agriculture*. 22(2): 261-265.

Tixier-Boichard M, Leenstra F, Flock DK, Hocking PM And Weigend S. 2012. A century of poultry genetics. *World's Poultry Science Journal*. 68: 307-321.

Topal E and Ozdogan M. 2013. Effects of glycerol on the growth performance, internal organ weights, and drumstick muscle of broilers. *Journal Applied Poultry Research*. 22: 146–51.

Trocino A, Piccirillo A, Birolo M, Radaelli G, Bertotto D, Filiou E, Petracci M and Xiccato G. 2015. Effect of genotype, gender and feed restriction on growth, meat quality and the

occurrence of white striping and wooden breast in broiler chickens. *Poultry Science*. 94: 2996–3004.

Tůmová E, Skřivan M, Skřivanová V and Kacerovská L. 2002. Effect of early feed restriction on growth in broiler chickens, turkeys and rabbits. *Czech Journal of Animal Science*. 47(10): 418–428.

Uni Z and Ferket R. 2004. Methods for early nutrition and their potential. *World Poultry Science Journal*. 60:101-111.

Uni Z, Noy Y and Sklan D. 1996. Posthatch development of small intestinal function in the poult. *Poultry Science*. 78: 215-222.

Uni Z, Ganot S and Sklan D. 1998. Posthatch development of mucosal function in the broilers small intestine. *Poultry Science*. 77: 75-82.

Uribe AJ, Valencia JE, Morales P, Triana S y Velandia D. 2011. Restricción alimenticia en pollos de engorda en explotaciones comerciales. XXII Congreso Latinoamericano de Avicultura, Buenos Aires, Argentina.

van Krimpen Dr MM, Kwakkel RP, André G, van der Peet-Schwering CMC, den Hartog LA, Verstegen MWA. 2007. Effect of nutrient dilution on feed intake, eating time and performance of hens in early lay. *British Poultry Science*. 48(4): 389-398.

Vanderhasselt RF, Buijs S, Sprenger M, Goethals K, Willemsen H, Duchateau L and Tuytens FA. 2013. Dehydration indicators for broiler chickens at slaughter. *Poultry Science*. 92 :612–619.

Vanderhasselt RF, Sprenger M, Everaert N, Decuypere E and Tuytens FAM. 2010. Physiological Indicators of dehydration in Broiler Chickens. XIIIth European Poultry Conference 2010.

vanRosendal S, Osborne M, Fassett R and Coombes J. 2009. Physiological and performance effects of glycerol hyperhydration and rehydration. *Nutrition Reviews*. 67(12): 690–705.

Varol O and Ombasilar EE. 2016. Effects of breeder age and early energy restriction on fattening performance, some meat quality traits and plasma leptin concentration of broilers. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi. 63: 69-76.

Vasquez IC and Hernandez A. 2012. Hipertensión pulmonar en pollos, lapso de exposición a la hipoxia hipobárica y relación peso pulmonar: peso corporal bajo condiciones de temperatura controlada. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 25: 81-89.

Veldkamp T, Kwakkel RP, Ferket PR, Verstegen MWA. 2005. Growth response to dietary energy and lysine at high and low ambient temperature in male turkeys. Poultry Science. 84:273–282.

Verussa GH, Corassa A, Pina DS, Ton APS, Komiyama CM and Teixeira AO. 2016. Performance and serum parameters of growing pigs fed semi-purified glycerin. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 30: 11-20.

Vongsamphanh P, Preston TR, Leng RA. 2017. Glycerol supplementation increased growth rates, decreased the acetate: propionate ratio in rumen VFA, and reduced enteric methane emissions, in cattle fattened on cassava pulp-urea, brewers' grains and rice straw. Livestock Research for Rural Development. 29: article 36.

Wang A, Anderson D and Rathgeber B. 2018. Using different levels of glycerine, glucose, or sucrose in broiler starter diets to overcome negative effects of delayed feed access on growth performance. Canadian Journal of Animal Science. 98(2): 311-324.

Wapnir RA and Stiel L. 1985. Regulation of gluconeogenesis by glycerol and its phosphorylated derivatives. Biochemical medicine. 33(2): 141-148.

Wideman RF. 2000. Cardio-pulmonary hemodynamics and ascites in broiler chickens. Avian and poultry biology reviews. 11(1). 21-43.

Wijtten P, Hangoor E, Sparla J and Verstegen M. 2010. Dietary amino acid levels and feed restriction affect small intestinal development, mortality, and weight gain of male broilers. Poultry Science. 89: 1424–39.

Wu G, Bryant MM, Voitle RA, Roland Sr DA. 2005. Effect of dietary energy on performance and egg composition of Bovans White and DeKalb White hens during phase 1. *Poultry Science*. 84:1610–1615.

Wu G. 1998. Intestinal mucosal amino acid catabolism. *Journal of Nutrition*. 128:1249-1252.

Yalçın S, Erol H, Özsoy B, Onbaşılar I, Yalçın S and Üner A. 2010. Effects of glycerol on performance, egg traits, some blood parameters and antibody production to SRBC of laying hens. *Livestock Science*. 129: 129–134.

Yamauchi K, Yamamoto K and Isshiki Y. 1995. Morphological alterations of the intestinal villi and absorptive epithelial cells in each intestinal part in fasted chickens. *Japanese Poultry Science*. 32: 241-251.

Yang YX, Guo J, Yoon SY, Jin Z, Choi JY, Piao XS, Kim BW, Ohh SJ, Wang MH and Chae BJ. 2009. Early energy and protein reduction: effects on growth, blood profiles and expression of genes related to protein and fat metabolism in broilers. *British Poultry Science*. 50(2): 218—227.

Yang F, Hanna M and Sun R. 2012. Value-added uses for crude glycerol—a byproduct of biodiesel production. *Biotechnology for Biofuels*. 5: 1-10.

Yang HY, Yang Z, Wang Z, Wang W, Huang K, Fan W and Jia T. 2015. Effects of early dietary energy and protein dilution on growth performance, nutrient utilization and internal organs of broilers. *Italian Journal of Animal Science*. 14(2): 162-171.

Zaheer K. 2015. An updated review on chicken eggs: production, consumption, management aspects and nutritional benefits to human health. *Food and Nutrition Sciences*. 6: 1208-1220.

Zavarize KC, Sartori JR, Pelicia VC, Pezzato AC, Araujo PC, Stradiotti AC and Madeira LA. 2011. Glutamine and nucleotide supplementation in broiler diets in alternative breeding system. *Archivos de Zootecnia*. 60(232): 913-920.

Zavarize KC, Menten JFM, Pereira R, Freitas LW, Romano GG, Bernardino M and Rosa AS. 2014. Metabolizable energy of different glycerine sources derived from national biodiesel production for broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 16(4): 411-416.

Zelenka J. 1973. Apparent digestibility of feed nutrients during the first days of chicken life. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 21: 119–124.

Zerjal T, Gourichon D, Rivet B and Bordas A. 2013. Performance comparison of laying hens segregating for the frizzle gene under thermoneutral and high ambient temperatures. *Poultry Science*. 92: 1474–1485.

Zhan X, Wang M, Ren H, Zhao R, Li J and Tan Z. 2007. Effect of early feed restriction on metabolic programming and compensatory growth in broiler chickens. *Poultry Science*. 86: 654–660.

Zubair AK and Leeson S. 1996. Changes in body composition and adipocyte cellularity of male broilers subjected to varying degrees of early-life feed restriction. *Poultry Science*. 75: 719–728.

Zulkifli I, Shakeri M and Soleimani AF. 2016. Dietary supplementation of L-glutamine and L-glutamate in broiler chicks subjected to delayed placement. *Poultry Science*. 95: 2757–2763.