



---

# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GANADERÍA**

## **EFFECTO DE LA DISTANCIA Y RAMPAS ENTRE COMEDEROS Y BEBEDEROS EN EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y LA FORTALEZA DEL HUESO DE POLLOS EN ENGORDA**

**JOSUÉ JUVENCIO ARROYO VILLEGAS**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

**2013**

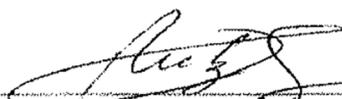
---

La presente tesis titulada: **"Efecto de la distancia y rampas entre comederos y bebederos en el rendimiento productivo y la fortaleza del hueso de pollos en engorda"**, realizada por el alumno: **"Josué Juvencio Arroyo Villegas"** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GANADERÍA

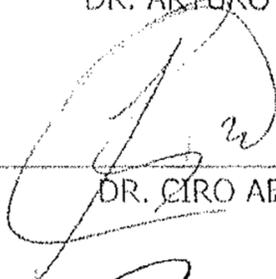
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ARTURO PRO MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS



DR. CIRO ABEL RUÍZ FERIA

ASESOR



DR. JUAN MANUEL CUCA GARCÍA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2013

**Efecto de las distancias y barreras entre comederos y bebederos en el rendimiento productivo y la fortaleza del hueso en pollos en engorda.**

**Ing. Josué Juvencio Arroyo Villegas, † M.C.**

**† Orientacion Ganaderia, Colegio de Postgraduados 2013**

***Resumen***

La habilidad para caminar y la salud de los huesos son importantes en la producción de pollo de engorda. Se realizó un experimento (factorial 2 x 2) de cuatro tratamientos, con cuatro repeticiones (54 pollos cada una) para evaluar los efectos de las distancias (3m u 8m) y la presencia (CR) o no presencia (NR) de rampas (prisma triangular de 132 cm de ancho x 31 cm de altura x 174 cm de largo con inclinación de 38° por cada lado) entre comederos y bebederos en la resistencia a la rotura de la tibia, rendimiento de la canal y rendimiento productivo. 864 pollos machos (Cobb 500) de un día de edad se criaron convencionalmente y se asignaron al azar en corrales de piso idénticos, con libre acceso al alimento (NRC, 1994) y agua. Se evaluó el rendimiento productivo semanalmente (mortalidad, peso vivo, consumo de alimento, conversión alimenticia y ganancia de peso), a los días 28, 35, 42 y 49, 12 aves por tratamiento se sacrificaron por dislocación cervical, se colectaron las tibias y tendón calcáneo para evaluar mediciones de la tibia (longitud, diámetro proximal, medio, distal y diámetro promedio, resistencia a la rotura de la tibia, densidad ósea de la tibia, contenido de cenizas en la tibia y resistencia a la rotura del tendón calcáneo. Antes de sacrificar las aves se evaluaron indicadores de bienestar (latencia a postrarse, puntuación de la habilidad para caminar, presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y los corvejones, la angulación valgus o varus, porcentaje de

hematocrito y la amplitud de la onda R-S). A los 49 días se evaluó rendimiento de la canal, grasa abdominal, relación peso del ventrículo derecho: peso total ventricular, color en la pechuga, color en muslo y peso de los principales cortes (pechuga, piernas, muslos, alas). A los 49 d los pollos del tratamiento 8m mostraron una tendencia a tener mayor resistencia a la rotura de las tibias que los pollos en el tratamiento 3m ( $P=0.09$ ), mientras que los pollos del tratamiento con rampa tuvieron menor resistencia a la rotura de las tibias que las aves del tratamiento sin rampa ( $P\leq 0.01$ ), sin embargo LTL fue mayor en las aves 8mNR. El peso final no se afectó por efecto de las distancias, sin embargo los pollos del tratamiento sin rampa tuvieron mayor peso que los pollos del tratamiento con rampa ( $P\leq 0.05$ ), además, el contenido de grasa abdominal fue menor en los pollos del tratamiento 8m que en los pollos del tratamiento 3m ( $P\leq 0.05$ ), el rendimiento de la canal en pollos con rampas fue 2% mayor que sin rampas ( $P\leq 0.05$ ), el peso de los muslos fue 28 g mayor en pollos con distancia de 8m que con 3m. No se encontraron diferencias significativas ( $P\geq 0.05$ ) en conversión alimenticia, peso de las piernas y peso de las alas. Nuestros resultados sugieren que el incremento de las distancias entre las fuentes de alimento y agua tiene efectos limitados en la fortaleza de los huesos, pero incrementa el LTL y puede cambiar los patrones de alimentación y las características de la canal, como lo indica el bajo contenido de grasa abdominal. El uso de las rampas o la inclinación como medida para incrementar el ejercicio afectó la resistencia a la rotura del tendón. En general el incremento de ejercicio redujo el rendimiento productivo como el peso vivo y el consumo de alimento, pero no tuvo efecto sobre la conversión alimenticia y mejoró el rendimiento de la canal.

**Palabras clave:** distancia, rampa y resistencia a la rotura de la tibia.

**Effects of Distance and Barriers Between Feeders and Waterers on Productive  
Performance and Bone Strength of Broiler Chickens**

**Ing. Josué Juvencio Arroyo Villegas, † M.C.**

**† Orientacion Ganaderia, Colegio de Postgraduados 2013**

***Abstract***

Walking ability and bone health are important problems in broiler production, particularly in the modern production of broilers selected for rapid growth. An experiment (2 x 2 factorial) of four treatments with four replications (54 birds each) was conducted to evaluate the effects of distance at three meters (3m) or eight meters (8m), and the presence (WR) or no presence (NR) of ramp (triangular prism 132 cm in long, 31 cm in high, 174 cm in wide and inclination about 38° by each face) between feeders and waterers on tibial breaking strength, carcass yield and productive performance. One-d-old male chicks (Cobb 500) were brooded conventionally and raised on identical floor pens, with free access to feed and water. At d 28, 35, 42, and 49, 12 birds per treatment were killed by cervical dislocation, and tibias were collected to measure breaking strength, bone density and bone ash. At the same time calcaneus tendon were collected to measure breaking strength and determination of hydroxyproline in calcaneus tendon. Before slaughter birds were evaluated to gait score, foot pads and hock burns and latency to lie. At d 49, carcass yield, cut chicken yield, abdominal fat and arterial pressure index were also measured. Body weight, feed intake and feed conversion were recorded weekly. At d 49 birds in the 8m treatment tended to have a higher BBS than birds in the 3m treatment ( $P=0.09$ ), whereas WR birds had lower TBS than NR birds ( $P\leq 0.01$ ); however, LTL was highest in 8mNR

birds. Final BW was not affected by distance, but birds in the NR group were heavier than birds in the WR group. Furthermore, AbF was lower in 8 m than in 3 m birds, carcass yield, broilers in WR had carcass yield 2% higher than in those NR, and thigh weight was 28 g higher in broilers with distances of 8m than with 3m. No differences ( $P \geq 0.05$ ) were observed feed conversion ratio, leg weight and wings weight. Our results suggest that longer distances between resources have limited effects on bone strength, but increase the LTL, and may change feeding patterns and carcass characteristics, as evidenced by the lower AbF content. Ramps or inclination affected tendon breaking strength. In general the increase of exercise reduced broiler productive performance as in the case of body weight and feed consumption, but does not affected the feed conversion and improved the carcass yield.

**Key words:** Bone breaking strength, Broilers, Distance, Barriers, Latency to Lie

## ***Dedicatoria***

A mi hijo Josué Arroyo González porque eres el regalo más hermoso que me ha dado Dios, porque eres mi admirador y fiel amigo, porque eres mi inspiración y por llenar mi vida de alegría, porque me recibes con un gran abrazo y entusiasmo en cada ocasión, Te amo.

A mis padres Lic. Juvencio Arroyo Galindo y Profra. Olivia Villegas Figueroa, por haberme dado la vida y ser mi ejemplo constante de trabajo y superación, por brindarme su confianza, amor y apoyo incondicional.

A mis hermanas Dra. Blanca Paloma Arroyo Villegas y Al. Eliza Arroyo Villegas, por darme ánimos en los momentos difíciles y apoyarme en todo momento.

A mis amigos Dr. Victor Manuel Valdes Narvaez, Dr. Fernando Gonzalez Cerón, Dr. Jaime Bautista Ortega, Lic. Javier Flores Barrera e Ing. Héctor Guillermo Lara Muñoz por todos los retos que pasamos juntos, siempre quedarán en nuestro pensamiento.

A mis amigos y compañeros en la universidad: Dr. David Chang Díaz, M.C. Sócrates Espíndola, Ing. Paulino Martínez, M.C. Sergio Velázquez.

Sinceramente: Josué Arroyo.

## ***Agradecimientos***

A Dios, por darme la existencia, fuerza y sabiduría para enfrentar retos en la vida.

Al Pueblo de México.

Al Colegio de postgraduados, al CONACYT y a la Texas A & M University, por proporcionarme los conocimientos y herramientas que permitieron realizar mi formación profesional.

A todos mis Maestros, por sus enseñanzas y valiosos consejos.

A los doctores Arturo Pro Martínez y Ciro A. Ruíz Feria, por haberme guiado en la realización del presente trabajo y por haberme brindado su confianza y amistad sincera.

A los miembros del jurado Dr. Arturo Pro Martínez, Dr. Ciro A. Ruiz Feria, Dr. J. Manuel Cuca García y Dr. Jaime Bautista Ortega por sus acertadas correcciones y sugerencias para la realización de este trabajo.

A todo el Personal Académico y Administrativo del Colegio de Posgraduados y de la Texas A & M University por brindarme la orientación y facilitar mis labores académicas y de investigación.

A todas aquellas personas que de alguna forma me apoyaron para la realización de este trabajo.

A todos ustedes “gracias”

## **Contenido**

<b>Portada</b> .....	1
Formato de aprobación de tesis .....	ii
Resumen .....	iii
Abstract.....	v
Dedicatoria.....	vii
Agradecimientos.....	viii
Lista de cuadros.....	xii
Lista de figuras .....	xiii
Introducción .....	1
Identificación del problema .....	4
Justificación .....	5
Objetivo .....	5
Hipótesis .....	5
Revisión de Literatura .....	6
Materiales y métodos.....	10
Localización .....	10
Material biológico.....	10
Manejo de los animales.....	11
Tratamientos.....	11
Colección de muestras .....	12
Resistencia a la rotura de huesos .....	13
Densidad ósea.....	13
Contenido de cenizas en el hueso .....	14
Resistencia a la rotura del tendón calcáneo .....	15
Latencia a postrarse .....	15

Puntuación de la habilidad para caminar .....	16
Presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y en los corvejones.....	17
Angulación valgus o varus .....	18
Rendimiento cardiopulmonar y hematocrito.....	18
Rendimiento de la canal, peso de cortes y color de la carne.....	19
Porcentaje de grasa abdominal .....	19
Rendimiento productivo.....	20
Diseño Experimental:.....	20
Relación con la industria y el consumidor final .....	21
Resultados .....	21
Resistencia a la rotura de los huesos y del tendón.....	21
Densidad ósea y contenido de cenizas en el hueso.....	23
Indicadores de bienestar animal .....	28
Latencia a postrarse .....	28
Calificación de la habilidad para caminar .....	29
Presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y en los corvejones.....	30
Angulación valgus o varus .....	30
Relación peso del ventrículo derecho y peso total ventricular, rendimiento cardiopulmonar y porcentaje de hematocrito.....	30
Rendimiento productivo.....	31
Discusión .....	33
Resistencia a la rotura de los huesos.....	35
Resistencia a la rotura del tendón .....	37
Densidad ósea.....	38
Contenido de cenizas óseas .....	39
Mediciones de la tibia .....	39
Latencia a postrarse .....	40
Calificación de la habilidad para caminar .....	41
Presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y los corvejones .....	43
Angulación valgus o varus .....	46
Contenido de grasa abdominal .....	47

Color de la carne.....	48
Relación peso del ventrículo derecho y el peso total ventricular, y rendimiento cardiopulmonar.....	51
Porcentaje del hematocrito.....	52
Rendimiento productivo.....	53
Mortalidad.....	53
Peso corporal.....	54
Conclusiones.....	55
Agradecimientos.....	56
Referencias.....	57
Apéndice.....	70

## ***Lista de cuadros***

Cuadro 1 resistencia a la rotura de la tibia y resistencia a la rotura del tendón calcáneo.....	22
Cuadro 2 densidad ósea en tibias de pollos de engorda machos.....	23
Cuadro 3 rendimientos de la canal y contenido de grasa abdominal .....	26
Cuadro 4 color de la carne en el muslo de pollos de engorda machos.....	27
Cuadro 5 peso corporal, consumo de alimento y conversión alimenticia de pollos de engorda machos .....	32

## ***Apéndice***

Cuadro A. contenido de cenizas ósea de la tibia de pollos de engorda machos .....	70
Cuadro B. rendimiento de los principales cortes en pollos de engorda machos .....	71
Cuadro C. color de la carne en el musculo de la pechuga de pollos de engorda machos .....	72
Cuadro D. pollos de engorda machos con diferentes grados en la calificación de la habilidad para caminar .....	73
Cuadro E. pollos de engorda machos con diferentes grados de quemaduras en las almohadillas de las patas y los corvejones .....	74
Cuadro F. pollos de engorda machos con diferentes grados de angulación valgus o varus.....	75
Cuadro G. amplitud de la onda R-S en pollos de engorda machos.....	76
Cuadro H. hematocrito en pollos de engorda machos.....	77

## ***Lista de figuras***

Figura 1. Ilustración gráfica de la angulación tibio tarsal en pollos de engorda .....	18
Figura 2. Diámetros proximal, distal y promedio de la tibia de pollos de engorda machos.....	25
Figura 3. Latencia a postrarse de pollos de engorda machos.....	29

## ***Introducción***

La avicultura Mexicana es la rama del sector pecuario que más avances ha tenido en lo que respecta a nutrición, mejoramiento genético, equipamiento, con un crecimiento anual constante de 5.3% durante el periodo 1994-2008, en 2008 se reportó un consumo de carne de pollo de 26.8 kg per cápita en comparación con los 15.83kg en 1994. México en 2008 produjo 2.8 millones de toneladas de carne de pollo con un valor comercial superior a los 60,000 millones de pesos (mdp).

La avicultura mexicana en 2008, aportó el 0.67% en el PIB total, el 18.32% del PIB agropecuario y el 38.52% del PIB pecuario. En los últimos 5 años la participación en el PIB pecuario se ha incrementado anualmente 5%. El sector avícola mexicano participa con 63.5% de la producción pecuaria; 35.1% aporta la producción de pollo, 28.3% la producción de huevo y 0.20% la producción de pavo (UNA, 2009).

La producción de carne de pollo en México es una actividad muy importante desde que es la carne más barata en el país. Las operaciones comerciales de pollo de engorda en el valle de México se localizan alrededor de los 2200 m.s.n.m. lo cual contribuye a una alta incidencia de ascitis; asimismo los productores han aumentado la densidad de los pollos de 14 a 16 aves/m<sup>2</sup>. Lo cual restringe el movimiento de los pollos, resultando en alteraciones en la estructura de los huesos, lesiones en las almohadillas de las patas, heridas en la piel, hematomas, alta mortalidad y menor ganancia de peso. Estas condiciones claramente reducen el bienestar de los pollos y la calidad de la canal. Junto con esto, los pollos están sujetos a un intenso programa de vacunación, lo cual algunas veces causa reacciones

severas post inmunización lo cual incrementa la susceptibilidad a infecciones con mycoplasma, staphylococcus y artritis. Todo esto puede causar pérdidas económicas significativas y mortalidad de 3 a 5% dependiendo de la estación del año. Por lo tanto, para mantener esta industria en un nivel competitivo es importante proveer bienestar a los animales, reducir el desecho de pollos con malformaciones, los problemas de la calidad de la canal causados por una debilidad en el sistema locomotor y reducir la mortalidad por ascitis.

La avicultura en E.U.A. enfrenta problemas similares, ya que los métodos de producción y el material genético son los mismos. En adición a lo anterior, el sector avícola, está enfrentando un importante cambio de parte de algunos sectores de la población y de consumidores que están cuestionando severamente el bienestar y el trato humano de los animales usados para alimentación.

México importó 95 millones de toneladas de carne de pollo libres de aranceles, representando para E.U.A. \$228 mdd. Para 2007 los E.U.A. exportaron 2.6 millones de toneladas de productos avícolas a México, con un valor estimado para E.U.A. de \$2,736 mdd y seguramente seguirá incrementándose.

Los problemas de patas y la debilidad de las piernas son problemas importantes en la producción moderna de pollos de engorda de rápido crecimiento, no solamente porque un sistema locomotor pobre reduce la habilidad de las aves para comer y beber, sino porque esto también está asociado con los desechos en las granjas y canales de mala calidad y decomisos en las plantas de procesamiento, causando grandes pérdidas económicas.

La producción rústica o de traspatio y la producción orgánica de carne de pollo ha sido considerada como una alternativa viable para dirigir los temas de bienestar animal como los problemas de patas. Sin embargo, a través de la producción orgánica de pollos se mejoran algunos indicadores de bienestar animal (menos lesiones en las almohadillas de las patas y en las piernas). Este sistema de producción orgánica también resulta en un incremento de la producción de amoníaco, alto riesgo de eutrofización (contaminación del agua) y mayor uso de combustible y suelo por kg de pollo producido comparado con el sistema convencional (Bokkers y De Boer, 2009). Kestin *et al.* (1992) encontraron que el 90% de los pollos tenía alguna anomalía detectable en la habilidad para caminar, y 26% sufre alguna anomalía de suficiente severidad para considerar que su bienestar se encuentra comprometido. Por su parte Knowles *et al.* (2008) evaluaron la habilidad para caminar de 51,000 pollos y reportaron que 27.6% de las aves mostraron mala locomoción.

Los mecanismos que causan los problemas de patas no están completamente entendidos, sin embargo se ha planteado la hipótesis de que el rápido ritmo de crecimiento y el comportamiento sedentario son los principales factores. La reducción de la ganancia de peso no es una alternativa atractiva desde el punto de vista de rendimiento productivo, pero mejorar la actividad física tiende a mejorar algunas variables de la habilidad para caminar, por ejemplo, Bizeray *et al.* (2002) reportaron mayor diámetro de la diáfisis de la tibia (lo cual significa huesos más fuertes), de los pollos cuando se utilizaron barreras entre los comederos y los bebederos, forzándolos a caminar por el perímetro de la barrera. Reiter y Bassei (2009) reportaron mejoras en el área cortical ósea pero no en la flexibilidad del hueso cuando los comederos y bebederos se colocaron a 12 m de separación comparado

con una separación de 2 m. Estudios preliminares (Cruz-Hernandez *et al.*, 2011 datos no publicados), indican que el incremento de las distancias entre los comederos y los bebederos (2 m y 6 m) mejoró la resistencia de la tibia en pollos jóvenes de 21 días de edad pero no en los pollos de mayor edad, es importante señalar que en ese estudio el incremento la actividad de caminar no afectó la productividad.

En el presente estudio se planteó la hipótesis de que el ejercicio moderado en pollos de engorda reduce la incidencia de lesiones relacionadas con la mala integridad esquelética y del tendón, mejora el rendimiento productivo, la habilidad para caminar, el bienestar animal, el rendimiento cardiopulmonar y el suministro de sangre al sistema musculo esquelético.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la distancia y la presencia o no de rampas entre comederos y bebederos en la resistencia a la rotura de la tibia, la densidad ósea, contenido de cenizas en el hueso, indicadores de bienestar animal, rendimiento de la canal, rendimiento cardiopulmonar y rendimiento productivo.

### ***Identificación del problema***

La debilidad de la pierna y las deformaciones de patas son dos problemas muy importantes en los pollos de engorda de rápido crecimiento, ya que esto determina su habilidad para caminar, por lo que su capacidad para comer y beber se puede afectar, este problema también está asociado con el incremento de mortalidad y decomisos durante el procesamiento de la canal en la planta.

## ***Justificación***

Los problemas de patas en los pollos de engorda de rápido crecimiento representan pérdidas económicas, estimadas en 5% de mortalidad y para México representa alrededor de 140,000 toneladas de carne con un valor comercial aproximado de 3,000 mdp, si se aplica a la producción de 2008 reportada por la Unión Nacional de Avicultores. En el caso de E.U.A. representa pérdidas por 136 mdd sólo con respecto al valor de sus exportaciones a México en el año 2007, y se estima hasta 16% de mermas durante el procesamiento en la planta.

## ***Objetivo***

Evaluar el efecto de incrementar la distancia y la presencia o no de rampas entre los comederos y bebederos en pollos de engorda de rápido crecimiento alimentados con una dieta convencional.

## ***Hipótesis***

Promover ejercicio moderado en pollos de engorda en etapas tempranas de iniciación, podría mejorar la habilidad para caminar, reducir lesiones relacionadas con mala integridad del esqueleto y los tendones, y mejorar el bienestar de los pollos, lo cual podría reflejarse a través de un mejor rendimiento productivo, reducir la mortalidad, y el desecho de pollos debido a ascitis, problemas cardio respiratorios y malformaciones de patas.

Dado que el consumo de alimento es uno de los motivadores más importantes para caminar, se podría fomentar el ejercicio moderado a través de la modificación de la distancia y el uso

de rampas entre el alimento y el agua, en la caseta de los pollos de engorda, usando alimento de tipo comercial y un sistema de producción convencional.

### ***Revisión de Literatura***

Se han utilizado varios métodos para incrementar la actividad en los pollos de engorda (programas de iluminación, ambiente controlado, temperatura, humedad, etc.) pero la conducta de alimentación es una de las más importantes motivaciones para incrementar la actividad física de los pollos en engorda.

La producción de carne de pollo ha experimentado una de las más dramáticas mejoras en términos de productividad e integración. Este suceso resulta de una intensa selección genética, de una administración precisa de nutrientes, y de construcciones con ambientes controlados que maximizan el comportamiento del animal. Mientras que los pollos de engorda han sido seleccionados para ganancias de peso cada vez mayores; sin embargo, otras variables relacionadas con la viabilidad y bienestar no han sido tratadas adecuadamente. La debilidad de las piernas ha sido reconocido como un problema serio en los pollos de engorda de rápida ganancia de peso, resultando en pérdidas económicas debido a la reducción de la eficiencia productiva, alta proporción de pollos de desecho por malformaciones en las patas, problemas cardio respiratorios y alta mortalidad, esto también pasa a ser una preocupación por el bienestar de las aves. El síndrome de la hipertensión pulmonar también conocido como ascitis es un desorden metabólico que afecta a los pollos en engorda de mayor ganancia de peso. En los pollos de engorda susceptibles, este desorden se inicia por un incremento en cualquiera de las siguientes actividades cardiacas

(incremento del ritmo metabólico asociado con el rápido crecimiento) o la resistencia vascular al flujo sanguíneo (hipoxia hipobárica a altitudes elevadas). La hipoxia ambiental causa vasoconstricción en la vena pulmonar y arterias incrementando la resistencia vascular y la presión de la arteria pulmonar, (Burton, *et al.*, 1968; Julián, 2007). Por consiguiente, aumenta la incidencia de ascitis que puede causar alta mortalidad en las estirpes de pollos de engorda actuales, especialmente cuando las aves crecen a elevadas altitudes, como es el caso del Estado de México, con altitudes de más de 2,200 m.s.n.m.

La locomoción es un requisito muy importante para la sobrevivencia, porque de esto depende la habilidad para asegurar la alimentación y el consumo de agua, mantener el territorio, evitar a los predadores, entre otras. En condiciones comerciales los pollos de engorda, con pobre habilidad para caminar resulta en menor ganancia de peso, inhabilidad para competir y alimentarse adecuadamente, esto reduce la uniformidad de la parvada. También las aves con problemas para caminar pasan más tiempo echadas, y esto causa ampollas y ulceraciones que afectan la calidad de la canal en el proceso de sacrificio. La pobre habilidad para caminar también ha sido asociada a un pobre bienestar, aunque esto es más difícil de evaluar y cuantificar. Kestin *et al.* (1992) describieron un sistema de medición que es usado para evaluar la habilidad para caminar. Nääs *et al.* 2009 midieron la fuerza ejercida por las patas de los pollos con problemas de locomoción con y sin la administración de analgésicos, y encontraron que las aves que recibieron el analgésico, la fuerza máxima de resistencia incrementó en los pollos con pobre habilidad para caminar, indicando que ellos podrían haber sentido dolor durante la locomoción cuando no tenían analgésico. Contrariamente, Skinner-Noble and Teeter (2009) no encontraron diferencias

en las variables relacionadas con el estrés crónico (relación heterófilos: linfocitos) o daños del nervio ciático, cuando compararon aves con ligeros problemas (calificación 2) con aves normales (calificación 0 ó 1).

La debilidad de las piernas y la pobre locomoción son las causas de que los pollos estén poco tiempo parados, esta evidencia sugiere predisposición de origen genético, la mayor ganancia de peso y el manejo tienen efectos importantes en la incidencia de problemas en las piernas. Kestin *et al.* (2001) Evaluaron 13 genotipos de pollos que presentaron un amplio intervalo de ganancias de peso y concluyeron que la incidencia de alteraciones en la locomoción en pollos fue principalmente determinada por la mayor ganancia de peso, soportando la hipótesis de que las alteraciones en la locomoción de los pollos es el resultado de la selección para una mayor ganancia de peso, resultando en cada vez mayores pesos vivos que deben ser soportados por huesos y articulaciones todavía inmaduros, es decir que hay un desbalance entre la ganancia de peso y el tiempo de maduración de los huesos y las articulaciones ya que la selección genética ha prestado poca o nula atención a la relación ganancia de peso y tiempo de maduración de los huesos y articulaciones.

Cuando se han realizado experimentos en donde se reduce la ganancia de peso, el menor peso corporal y menor ganancia de peso han resultado en mejoras en la calificación de la habilidad para caminar y mayor fortaleza de piernas. (SU *et al.*, 1999; Bricket *et al.*, 2007).

Los estudios de comportamiento indicaron que los pollos de engorda criados en condiciones comerciales pasan alrededor del 80% del tiempo postrados. Weeks *et al.*, 2000, sugirieron que la falta de ejercicio es un factor importante responsable de la falta de fuerza

en los huesos largos. Las aves que caminan presentaron mejor calidad de huesos y tendones, que las aves en jaulas (Shipov *et al.*, 2010).

Los mismos autores reportaron que las aves llegaron a los comederos en promedio 4 veces por hora y a los bebederos 2 lo cual representa el 65% de la distancia viajada y el 35% en actividades diferentes a estas. Esto sugiere que la ingestión de alimento es la principal motivación para caminar en pollos de lento crecimiento, pero en pollos de rápido crecimiento con pobre habilidad para caminar, la presencia de alimento representa mayor motivación y sin duda esta motivación por satisfacer el hambre y el apetito determinan mayor actividad para caminar, (Brokkers y Koene, 2004) creando estrés en las aves.

La habilidad para caminar y la integridad del esqueleto de los pollos de engorda está comprometida, afectando directamente el rendimiento económico de los productores de pollos, además de reducir el bienestar de las aves. Lo anterior está relacionado con la hipótesis de que el ejercicio mejora la integridad del esqueleto y reduce los problemas al caminar en los pollos.

Si bien la alimentación es una de las principales motivaciones para incrementar la locomoción, en la actualidad el manejo alimenticio de los pollos de engorda indica que los comederos y bebederos no deben estar apartados a más de 3m.

Se han realizado numerosos estudios sobre el efecto de las estrategias de alimentación, ambientes fríos, hipoxia y suplementos dietéticos para disminuir la mortalidad por ascitis en pollos de engorda, pero poco o nada se ha estudiado sobre el efecto del ejercicio en los

pollos de engorda, a pesar de que hay evidencia de los efectos benéficos del ejercicio en la salud humana, especialmente en la mejora del rendimiento cardiovascular.

## ***Material y métodos***

### **Localización**

El experimento se realizó en el módulo de aves y laboratorios de Texas A & M University ubicada a 112 m.s.n.m. Las medias de temperatura y precipitación anual de la zona son 20°C y 1000 mm ([wikipedia.org/collegestation/](http://wikipedia.org/collegestation/) abril de 2012).

### **Material biológico**

Se utilizaron 864 pollos de engorda machos (Cobb 500) de un día de edad de una incubadora comercial de la localidad, los cuales se criaron de acuerdo con las prácticas convencionales. Se evaluaron 2 distancias entre comederos y bebederos (3 u 8 m), así como la presencia o no de rampas (las rampas de madera tuvieron forma de prisma rectangular con una inclinación aproximada de 38° por cada lado, 132 cm de largo x 31 cm de altura x 174 cm de ancho). El espacio de comederos y bebederos por ave fueron de acuerdo a las recomendaciones comerciales, se utilizó una densidad de 0.25 m<sup>2</sup>/ave.

A los 21, 28, 35, 42 y 49 días de edad, 12 aves por tratamiento se seleccionaron al azar, para evaluar su habilidad para caminar mediante la técnica conocida como “Gait score” descrita por Kestin *et al.* (1992) donde una calificación de cero es asignada a las aves que caminan normalmente, uno con un leve defecto que se define como una ligera dificultad, calificación de dos para las aves con una condición definida e identificable defecto en estas

características pero que la lesión o el daño no obstaculiza el movimiento o la competencia por agua y alimento. Una calificación de tres para las aves que tienen un defecto evidente, el cual afecta la habilidad para moverse. Calificación de cuatro para las aves con un severo defecto y cinco para aquellas aves incapaces de caminar sostenidamente. También se evaluó la condición cardio-vascular, y después se sacrificaron para evaluar la densidad del hueso y la resistencia a la rotura, a los 49 días todas las aves se pesaron, sacrificaron y se determinó el rendimiento de la canal.

### **Manejo de los animales**

El experimento se realizó en corrales idénticos para representar las condiciones comerciales, en cada corral se colocó cama de viruta de pino limpia (con ocho centímetros en altura) y se utilizó un programa de iluminación 24 h luz durante el primer día de edad y después se cambió a 20 h luz y 4 h de obscuridad, el régimen de temperatura disminuyó 2° C semanalmente de 32° C a 24° C, el agua y el alimento se ofrecieron *ad libitum*, en cada corral se incluyó un comedero con capacidad para 13.6 kg y bebederos con sistema de niple. A todas las aves se les proporcionó una dieta a base de maíz-pasta de soya formulada para cubrir o exceder todos los requerimientos del NRC (1994) para pollos de engorda, incluyendo 23% PC y 3200 kcal EM/Kg.

### **Tratamientos**

Los tratamientos se aleatorizaron en 16 unidades experimentales de 54 pollos machos cada una y se dividieron en cuatro tratamientos, en el grupo testigo los comederos y bebederos se situaron a tres metros (3mNR) uno del otro, como está establecido por las recomendaciones

actuales para maximizar la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia; en el segundo tratamiento los bebederos y comederos estuvieron ubicados a ocho metros (8mNR) de distancia uno del otro, para obligar a las aves a caminar, en el tercer tratamiento los bebederos y comederos estuvieron separados por tres metros de distancia uno del otro con la presencia de una rampa en el centro (3mCR) y en el cuarto tratamiento los bebederos y comederos estaban separados por ocho metros de distancia uno del otro con la presencia de una rampa en el centro (8mCR). En todos los casos se mantuvieron condiciones idénticas respecto a la densidad de las aves, espacio de comederos, y número de bebederos por ave. Cada tratamiento se proporcionó a cuatro repeticiones de 54 aves cada una. Se empleó diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2.

### **Colección de muestras**

A los 28, 35, 42 y 49 días de edad, 3 aves por corral (12 aves por tratamiento) se seleccionaron al azar, sacrificadas humanitariamente por dislocación cervical y se pesaron individualmente [el manejo y cuidado de las aves se realizó siguiendo el protocolo de cuidado animal aprobado por el comité institucional de cuidado animal de la Universidad de Texas A & M (Institutional Animal Care Committee at Texas A & M University)]. Ambas tibias se removieron, en las tibias de lado derecho se realizaron las siguientes mediciones: mediciones de la tibia (mm) con un calibrador digital (longitud, diámetro proximal, diámetro medio y diámetro distal), después las mismas tibias se sometieron a una prueba de resistencia a la rotura, después de esto, con los huesos rotos se realizó una prueba de densidad ósea y finalmente se evaluó el contenido de cenizas en la tibia. En las tibias de

lado izquierdo se removió el tendón calcáneo, las muestras se etiquetaron, congelaron y almacenaron a -21° C para determinar posteriormente la resistencia a la rotura.

### **Resistencia a la rotura de huesos**

Luego de sacrificar doce aves por tratamiento por dislocación cervical a los 28, 35, 42 y 49 días. Los huesos de la tibia derecha se removieron, descarnaron parcialmente y se registró longitud, diámetro proximal, diámetro medio y diámetro distal de la tibia con un calibrador digital. También en la tibia derecha se midió la resistencia a la rotura del hueso, la tibia se colocó en un accesorio ajustable de tres puntos en la plataforma de un analizador de textura TA.XT2 resistente (modelo TA-XT2, texture technologies Co., Scarsdale, NY 10583), para romper los huesos se utilizó un cabezal de 6 cm con una carga de 50 kg reportando la fuerza máxima de rotura en Newtons (N).

### **Densidad ósea**

Luego de medir la resistencia a la rotura, los fragmentos de los huesos rotos se almacenaron individualmente en bolsas selladas con alambre a -20°C y posteriormente se determinó la densidad y el contenido de cenizas. Las bolsas de plástico selladas con alambre que contenían las piezas rotas se etiquetaron y se colocaron dentro de un matraz con agua a punto de ebullición por 30 minutos, enseguida se descarnaron completamente procurando retirar los cartílagos, y se colocaron en crisoles previamente tarados y conservados dentro de un desecador, una vez en los crisoles los huesos se secaron a 105°C por 24 h después la tibia fue sumergida en agua destilada a una presión de vacío de 70 mm hg (aproximadamente 20 psi) hasta que todo el aire fue removido, se registró el peso para

obtener el peso húmedo (peso a), después se secó por segunda vez a 105° por 24 h para remover el agua de los poros de los huesos y se registró el peso seco (peso b) de los huesos, siguiendo el principio de Arquímedes se obtuvo el volumen de la tibia rota utilizando la siguiente ecuación:

$$V = (\text{peso a} - \text{peso b}) / 0.9971$$

Donde V es el volumen, peso “a” es el peso húmedo de los huesos. Peso “b” es el peso seco de los huesos y 0.9971 es la densidad del agua destilada a 25°C. La densidad del hueso de la muestra se obtuvo dividiendo el peso seco por el volumen.

### **Contenido de cenizas en el hueso**

Una vez obtenidos los datos para densidad ósea, las mismas piezas se secaron en los crisoles a 105°C por 24 h y se registró el peso seco, después las muestras se colocaron dentro de una mufla a 600°C por 24 h, antes de tomar el peso final de las cenizas, los crisoles con las muestras se colocaron en un desecador por 4 h para dejarlas a temperatura ambiente y libres de la humedad del ambiente. Los resultados se reportan como porcentaje del peso seco utilizando la siguiente fórmula:

$$PCH = ((PC)/PS)*100$$

Donde PCH es el porcentaje de cenizas del hueso, PC es el Peso de las cenizas del hueso, PS es el peso seco del hueso.

## **Resistencia a la rotura del tendón calcáneo**

Este método fue adaptado para medir la resistencia a la rotura del tendón calcáneo de los pollos de engorda debido a que el tendón calcáneo es muy resbaladizo, y difícil de fijar. Los tendones calcáneos se removieron de las tibias de lado izquierdo y las muestras se etiquetaron, congelaron y almacenaron a  $-21^{\circ}$  C. después se descongelaron los tendones lentamente en refrigeración por 24 h. Los extremos se sumergieron en nitrógeno líquido y se fijaron con papel arena o papel lija (también se puede utilizar papel filtro) en los soportes de la maquina analizador de textura modelo TA-XT2, (texture technologies Co., Scarsdale, NY 10583) para ser tensados y registrar la resistencia máxima.

## **Latencia a postrarse**

La prueba de latencia a postrarse que se usó en la presente investigación fue descrita por Berg y Sanotra (2003). A los 28, 35, 42 y 49 días de edad 12 aves por tratamiento se evaluaron para latencia a postrarse, brevemente, la prueba se realizó en un recipiente de plástico transparente con tres centímetros de altura de agua cuya temperatura inicial en cada prueba fue de  $32^{\circ}$ C, el ave se colocó en el contenedor con una tapa sobrepuesta para evitar que el ave pretendiera escapar y al mismo tiempo permitiera la libre oxigenación del área de prueba. Cuando el ave permaneció aún de pie después de 600 segundos, la prueba se suspendió, todas las pruebas se llevaron a cabo por la misma persona. Las aves se evaluaron individualmente sin contacto visual con otras aves.

## **Puntuación de la habilidad para caminar**

Este sistema de evaluación se desarrolló por Kestin *et al.* (1992), y más tarde se modificó por Garner *et al.* (2002). Brevemente se menciona que una calificación de 0 denota una ave con locomoción fluida y patas bien formadas, cuando esto aumenta a una calificación de 5 denota a una ave en completa incapacidad y no puede caminar o mantenerse de pie. Al día 21, 28, 35, 42 y 49 la habilidad para caminar se evaluó en 12 aves por tratamiento, 3 aves por corral se seleccionaron al azar, dos observadores simultáneamente observaron y calificaron individualmente cada ave.

Grado cero identifica un pollo diestro y ágil, con posibles problemas anormales no detectables; Grado uno describe pollos con un leve defecto al caminar; Grado dos se utiliza para pollos con un definitivo e identificable problema para caminar; Grado tres para aquellas aves que tienen una anormalidad evidente, que afecta su habilidad para moverse, particularmente su maniobrabilidad, aceleración y velocidad de movimiento; Grado cuatro son pollos con un severo defecto al caminar solamente caminan cuando se obligan o cuando tienen una fuerte motivación; Grado cinco se refiere a los pollos que no pueden caminar en lo absoluto. Cabe mencionar que se considera no ético seleccionar estas aves con 4 y 5 de calificación.

Dos observadores simultáneamente calificaron cada ave individualmente, el observador externo estuvo sentado en la entrada del corral para tener un ángulo bajo de observación y tomar el tiempo de inmovilidad y de acción del pollo, además de anotar su calificación, mientras tanto el otro evaluador entró al corral para alejar suavemente al pollo en

evaluación del resto del grupo. Aproximándose al pollo solamente desde atrás y nunca por el frente o los lados.

### **Presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y en los corvejones**

Esto es un tipo de dermatitis de contacto que afecta la región plantar de las patas de los pollos de engorda, causado por una combinación de humedad e irritantes químicos en la cama. A temprana edad se observa decoloración de la piel. También se puede desarrollar hiperqueratosis y necrosis de la epidermis y en casos severos estos cambios son seguidos por ulceraciones con reacciones inflamatorias del tejido subcutáneo (Greene *et al.*, 1985; Martland, 1985). Semanalmente a los 28, 35, 42 y 49 días de edad tres aves por corral se seleccionaron al azar, simultáneamente las aves se evaluaron para la prevalencia de quemaduras en las almohadillas, y la angulación valgus o varus. Las almohadillas y la articulación tibio tarsal de cada ave se evaluaron de acuerdo con la metodología descrita por Greene *et al.*, 1985 y Martland, 1985 usando una calificación combinada para ambas piernas de 0 a 3, 0 para no señales de daño, y 3 para quemaduras extendidas e inflamación.

Grado cero son pollos sin signos de daños; Grado uno describe aquellos pollos con un daño menor; Grado dos se refiere a los pollos con daño evidente; Grado tres se utiliza en pollos con quemaduras extendidas e inflamación.

## Angulación valgus o varus

Cada semana a los 28, 35, 42 y 49 días de edad tres aves por corral se seleccionaron al azar para evaluar la angulación valgus o varus la cual se evaluó subjetivamente y se calificó en escala de cero a tres, cero para no angulación de los tarsos (menos de 5°) y tres para angulación severa (mayor a 40°).

Grado cero significa que los pollos no presentan angulación evidente a simple vista (menos de 5°); Grado uno son pollos con poca o ligera angulación; Grado dos para aquellos pollos con angulación evidente; Grado tres representa angulación severa (mayor a 40°).

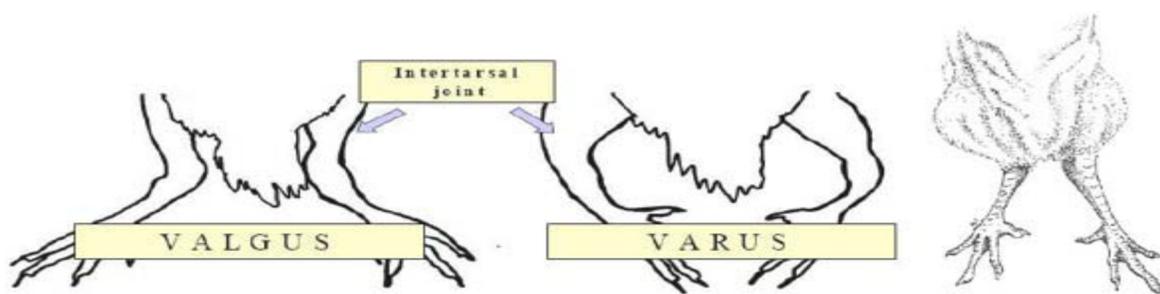


Figura 1. Ilustración gráfica de la angulación tibio tarsal en pollos de engorda. Tomada de Moller *et al.* 1995.

## Rendimiento cardiopulmonar y hematocrito

Después de evaluar la habilidad para caminar, las aves se ataron ligeramente en posición decúbito dorsal con las alas y piernas extendidas sin anestesia y se utilizó un equipo Lead estándar II para obtener un electrocardiograma, posteriormente se midió la amplitud de la onda R-S usando un BIOPAC MP100 para adquisición de datos, un amplificador ECG100A y un software de reconocimiento (Lab chart). Las agujas de los electrodos se

insertaron vía subcutánea en la base del ala derecha e izquierda y en la base de pierna izquierda, se usó la configuración descrita previamente por Wideman y Kirby, 1996. Finalmente, se obtuvo sangre por punción en una vena menor del ala, por duplicado y se usó una determinación de hematocritos con tubos capilares con heparina y una centrifuga para micro-hematocrito.

### **Rendimiento de la canal, peso de cortes y color de la carne**

A los 49 días de edad todos los pollos se identificaron individualmente y se registró el peso vivo de cada uno, después de sacrificar humanitariamente y procesar los pollos se obtuvo la canal (sin plumas, cabeza, patas o menudencias), los ventrículos del corazón, la grasa abdominal, pechuga, piernas, alas y muslos se pesaron individualmente y se reportan como porcentaje del peso corporal vivo (Zhao *et al.*, 2009). En el músculo de pectorales y muslo del mismo lado de la canal (izquierda) se midió el color de la carne con un colorímetro de reflectancia Minolta 300 CR en términos de Luminosidad L\*, amarillamiento a\* y enrojecimiento b\*.

### **Porcentaje de grasa abdominal**

En la planta de procesamiento, se registró el peso corporal vivo de cada pollo, después de sacrificar humanitariamente los pollos, la grasa abdominal fue removida de la canal, y se registró el peso, posteriormente se calculó el porcentaje de grasa abdominal de acuerdo con el peso vivo.

## **Rendimiento productivo**

El peso vivo y el consumo de alimento de las aves se midió semanalmente y se calculó la ganancia de peso y conversión alimenticia, también se registró la mortalidad diariamente.

## **Diseño Experimental:**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 X 2. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza utilizando el programa Two way del paquete estadístico SigmaStat. (3.5). Las medias se compararon utilizando la prueba de Student-Newman-Keuls, además se utilizó el programa PROC FREQ del paquete estadístico S.A.S. (1999) para datos categóricos como la habilidad para caminar, presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y los corvejones y la angulación valgus o varus de los tarsos.

El modelo estadístico que se utilizó está representado por la siguiente ecuación:

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + R_k + (D*R)_{ik} + e_{ijk}$$

$Y_{ijk}$  = Valor de la variable respuesta correspondiente al tratamiento por efecto de la i-ésima distancia en la j-ésima repetición más el efecto de la k-ésima rampa en la j-ésima repetición más el efecto de la interacción de la i-ésima distancia por la k-ésima rampa en la j-ésima repetición.

$\mu$  = Media poblacional.

$D_i$  = Efecto de la i-ésima distancia (3m u 8m) en la j-ésima repetición.

$R_k$  = Efecto de la  $k$ -ésima rampa (con rampa o sin rampa) en la  $j$ -ésima repetición.

$DR_{ik}$  = Efecto de la interacción de la  $i$ -ésima distancia por la  $k$ -ésima rampa en la  $j$ -ésima repetición.

$e_{ijk}$  = Error experimental.

## **Relación con la industria y el consumidor final**

Como se ha mencionado previamente, la debilidad y deformaciones en las piernas es un problema muy importante en la industria productora de aves, porque la locomoción determina la habilidad del ave para caminar, para comer y beber agua, lo cual representa no solamente un asunto de productividad sino también un asunto de bienestar. Las deformaciones también están asociadas con los desechos de las granjas, afectan la calidad de la canal y comprometen los decomisos en los rastros. Representando una importante pérdida económica. Así las aves que son capaces de levantarse para caminar normalmente impactan no solamente en la producción económica, sino también en la percepción pública de la producción avícola.

## **Resultados**

### **Resistencia a la rotura de los huesos y del tendón**

El Cuadro 1 muestra los resultados de la resistencia a la rotura de la tibia, no se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos a ninguna edad; sin embargo, a los 49 días de edad las aves en el grupo de 8m tuvieron una tendencia ( $P=0.09$ ) a tener mejor resistencia a la

rotura que las aves en el grupo de 3m; en el mismo cuadro se muestran los resultados para la resistencia a la rotura en el tendón calcáneo de pollos de 49 días de edad, se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en la resistencia a la rotura por tensión (N) del tendón calcáneo por efecto de rampa, los pollos NR, mostraron valores más altos que los pollos CR. No se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) por efecto de distancia o por interacción distancia x rampa.

Cuadro 1 resistencia a la rotura de la tibia (BBS, N) a diferentes edades (d), y resistencia a la rotura del tendón calcáneo (TBS, N) a los 49 d de pollos de engorda machos criados con diferentes distancias y con o sin la presencia de una rampa entre los comederos y los bebederos (2X2 factorial)<sup>2</sup>

Distancia	Tibia <sup>3</sup>				Tendón <sup>3</sup>
	d 28	d 35	d 42	d 49	d 49
3m	250	336	469	491	65
8m	254	354	471	518	73
EE	9.7	10.9	14.3	11.4	4.6
P	0.75	0.27	0.94	0.09	0.19
Rampa					
No rampa	254	342	462	501	78
Con rampa	251	348	478	508	60
EE	9.7	10.9	14.3	11.4	4.6
P	0.83	0.68	0.43	0.66	0.01

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron interacciones para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 12 repeticiones

<sup>a,b</sup> Medias con diferente superíndice dentro de la misma columna y dentro del mismo efecto principal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ )

## Densidad ósea y contenido de cenizas en el hueso

En el Cuadro 2 se presentan los resultados para densidad ósea en la tibia ( $\text{g/cm}^3$ ), se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en la densidad ósea a los 28 y 49 días de edad por efecto de la distancia, pollos con 8m tuvieron mayor densidad ósea que los pollos con 3m. En el mismo cuadro se muestran los resultados ( $P \leq 0.05$ ) a los 49 días por efecto de la interacción distancia x rampa, sin embargo la prueba de comparación de medias no fue diferente.

Cuadro 2 densidad ósea ( $\text{g/cm}^3$ ) en tibias de pollos de engorda machos a diferentes edades (d) en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>

Distancia	Densidad <sup>3</sup> ósea en tibia ( $\text{g/cm}^3$ )			
	d 28	d 35	d 42	d 49
3m	1.049	1.094	1.138	1.142
8m	1.149	1.049	1.217	1.214
EE	0.030	0.033	0.037	0.026
P	0.025	0.336	0.132	0.050
Ramp				
No rampa	1.088	1.100	1.152	1.195
Con rampa	1.109	1.043	1.203	1.161
EE	0.030	0.033	0.037	0.026
P	0.625	0.229	0.326	0.340
D * R (valor de P)	0.077	0.052	0.152	<0.001
EE	0.043	0.047	0.052	0.037

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron diferencias significativas por efecto de las interacciones para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 12 repeticiones

Los resultados para contenido de cenizas (Cuadro A.) en la tibia (%) mostraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en los pollos de 35 días de edad, los pollo CR tuvieron 1% más contenido de

cenizas que el grupo NR. También se observó diferencias debido a la interacción distancia x rampa a los 28 días; sin embargo, cuando se realizó la prueba de comparación de medias no se encontraron diferencias ( $P=0.064$ ). No se observaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) en el resto de las mediciones por efecto de distancia, rampa o interacción entre ambas.

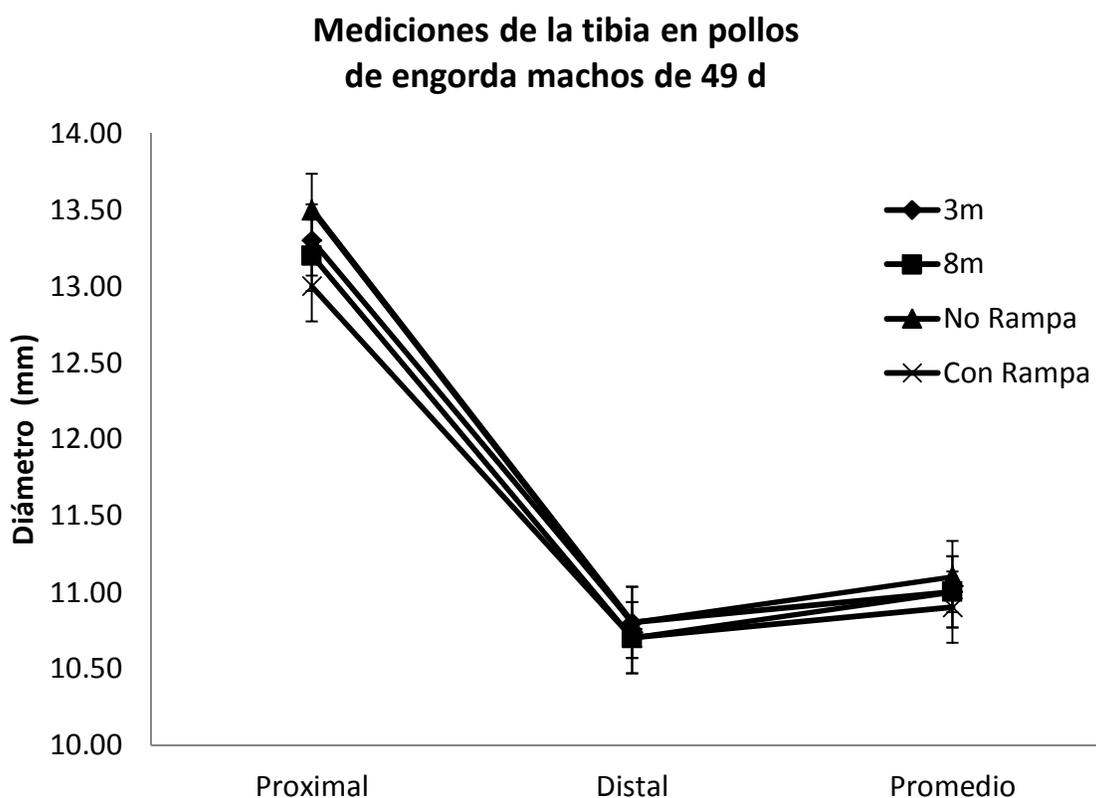
### **Mediciones de la tibia**

Los resultados para las mediciones de la tibia a los 35 días (datos no mostrados) de edad mostraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en el diámetro proximal (mm) de la tibia de los pollos por efecto de distancia, la tibia fue 0.6 mm más gruesa en los pollos con 3m que en los pollos con 8m. No se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) en el resto de las mediciones por efecto distancia, rampa o interacción entre estas.

Los resultados de las mediciones de la tibia (mm) no mostraron diferencias en longitud, diámetros proximal, medio, y promedio al día 42 (datos no mostrados) por efecto de distancia o rampa; sin embargo, la interacción distancia x rampa fue significativa en el diámetro proximal ( $P=0.003$ ) y el promedio de los diámetros ( $P=0.028$ ).

En la Figura 2 se muestran los resultados para las mediciones de la tibia al día 49, se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en los diámetros proximal, distal y promedio de la tibia en pollos de engorda por efecto de la interacción distancia x rampa; sin embargo, no hay diferencias en la comparación de medias entre tratamientos ( $P=0.057$ ). No se encontraron diferencias en el resto de las mediciones por efecto de distancia, rampa o la interacción entre estas.

Figura 2. Diámetros (mm) proximal, distal y promedio de la tibia de pollos de engorda machos a los 49 d de edad en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa (prisma triangular de 132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud) entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2), cada punto representa el promedio  $\pm$  EE de 12 observaciones.



**Rendimiento de la canal, contenido de grasa abdominal y color de la carne.**

Los resultados de rendimiento de la canal caliente (%) indicaron diferencias ( $P \leq 0.05$ ), los pollos de engorda CR tuvieron mayor rendimiento de canal que los pollos NR. Los resultados para el rendimiento de la canal fría (%) mostraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ), los

pollos CR tuvieron más rendimiento de canal que los pollos NR. No hubo efecto de distancia ni por la interacción distancia x rampa (Cuadro 3).

Cuadro 3 rendimiento de la canal caliente (%), rendimiento de la canal fría (%) y contenido de grasa abdominal (%) al día 49 de pollos de engorda machos en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>.

Tratamientos	Rendimiento de la canal <sup>3</sup>		Contenido de grasa <sup>3</sup>
	Caliente (%)	Fría (%)	Abdominal (%)
Distancia			
3m	73.7	75.2	1.7 <sup>a</sup>
8m	73.3	74.3	1.4 <sup>b</sup>
EE	0.005	0.005	0.001
P	0.366	0.109	0.002
Rampa			
No rampa	72.8 <sup>b</sup>	74.2 <sup>b</sup>	1.5
Con rampa	74.2 <sup>a</sup>	75.4 <sup>a</sup>	1.6
EE	0.005	0.005	0.001
P	0.009	0.025	0.094

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron interacciones para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 25 repeticiones

a,b Medias con diferente superíndice dentro de la misma columna y dentro del mismo efecto principal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ )

En el Cuadro B del apéndice, se presentan los resultados del rendimiento de los cortes (piernas, muslos, alas, y pechuga); no se observaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) por el efecto de los tratamientos o de la interacción distancia x rampa. Los resultados de grasa abdominal (%) indican diferencias ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de distancia, los pollos en el grupo 3m

tuvieron 0.3% más grasa abdominal que los pollos en el grupo 8m . No se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) por efecto de rampa o por interacción distancia x rampa.

Cuadro 4 comparación de medias para el color de la carne medido en el muslo sin piel de la canal fría (120 minutos postmortem) de pollos de engorda machos a los 49 d de edad en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>.

Tratamiento	Luminosidad <sup>3</sup> L*	Enrojecimiento <sup>3</sup> a*	Amarillamiento <sup>3</sup> b*
8mNR	50.887 <sup>b</sup>	6.039 <sup>a</sup>	-1.164 <sup>a</sup>
3mCR	52.007 <sup>b</sup>	5.137 <sup>b</sup>	-2.499 <sup>b</sup>
8mCR	55.327 <sup>a</sup>	4.248 <sup>b</sup>	-2.591 <sup>b</sup>
3mNR	54.339 <sup>a</sup>	4.518 <sup>b</sup>	-3.096 <sup>b</sup>
P	<0.001	<0.001	<0.001

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> Se encontraron diferencias significativas por efecto de la interacción distancia x rampa para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 25 repeticiones

<sup>a,b</sup> Medias con diferente superíndice dentro de la misma columna y dentro del mismo efecto principal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ )

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de la comparación de medias para el color de las canales frías (120 minutos *postmortem*) en muslos de pollo sin piel, se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de la interacción distancia x rampa. En los pollos de engorda del grupo 8m los valores de enrojecimiento (a\*) y amarillamiento (b\*) fueron más altos que en los otros tratamientos.

El color de la pechuga (Cuadro C.) de las canales frías a 120 minutos *postmortem*, los valores de luminosidad (L\*), enrojecimiento (a\*) y amarillamiento (b\*) no se afectaron

( $P \geq 0.05$ ) por efecto de la distancia, rampa y las interacciones para el color de la pechuga. Un factor importante que determina la calidad de la carne es el pH, cabe mencionar que en el presente estudio no se evaluó el esta variable, sin embargo dicho factor está relacionado con el color de la carne puesto que el valor de pH en la carne determina la transformación del glucógeno en ácido láctico que puede originar valores de pH más bajos que los considerados normales en la calidad de la carne. La carne con valores de pH bajos se considera pálida, razón por la que este parámetro afecta el color de la carne, además es suave, exudativa, tiene baja capacidad de retención de agua y bajo rendimiento de cocción.

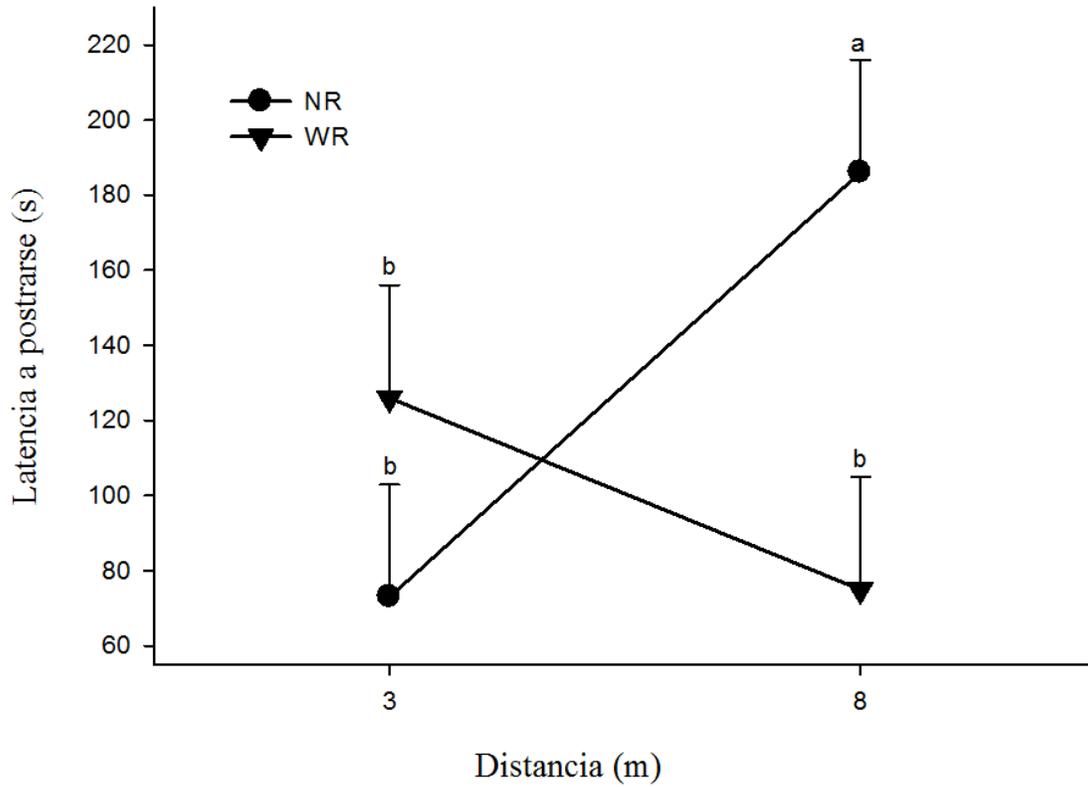
## **Indicadores de bienestar animal**

### **Latencia a postrarse**

En la Figura 3 se presentan los resultados de la prueba latencia a postrarse de los pollos de engorda en agua a 32°C. No se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) por efectos principales para esta prueba, pero la interacción distancia x rampa fue significativa ( $P \leq 0.05$ ) al día 49; sin embargo, en la comparación de medias sólo se observaron diferencias ( $P = 0.058$ ) por efecto del tratamiento 8mNR con respecto a los restantes.

Figura 3. Latencia a postrarse de pollos de engorda machos a los 49 d de edad en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa (prisma triangular de 132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud) entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2). Cada pollo fue colocado individualmente dentro de un contenedor de plástico previamente llenado con 3 cm de agua a 32° C; se

registró el tiempo hasta que cada pollo se postró, de acuerdo con el principio de que los pollos con las piernas más sanas tardarían mayor tiempo en postrarse, estarían de pie el mayor tiempo posible para evitar el contacto corporal con el agua, cada punto representa el promedio  $\pm$  EE de 12 observaciones.



### Calificación de la habilidad para caminar

Los resultados para la habilidad de caminar (Cuadro D.) no indicaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) por efecto de distancia, rampa o interacción distancia x rampa a los 35, 42 y 49 días de edad; sin embargo, se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en la habilidad para caminar total (este valor representa un recuento de todas las aves evaluadas desde el día 21 al día 49) los pollos con rampa mostraron mejores indicadores de bienestar, lo cual

significa 20% más pollos con grado cero y menos pollos con otros grados en la habilidad para caminar. En el grado 5 no se observaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos a ninguna edad debido a que no se observó pollos en esta condición.

### **Presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y en los corvejones**

El porcentaje de pollos que mostraron quemaduras en las almohadillas de las patas y los corvejones (Cuadro E.) los resultados no mostraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) por efecto de distancia, rampa o de la interacción distancia x rampa. En el grado tres no se observaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos a ninguna edad, debido a que no se observó ningún pollo en esta condición.

### **Angulación valgus o varus**

En el porcentaje de pollos que mostraron angulación valgus o varus (Cuadro F.) no se observaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) por efecto de distancia, rampa o la interacción distancia x rampa a ninguna edad.

### **Relación peso del ventrículo derecho y peso total ventricular, rendimiento cardiopulmonar y porcentaje de hematocrito.**

Los resultados de la relación peso del ventrículo derecho y peso total ventricular (VD:TV) no indicaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos (datos no presentados). Cuadro G, los resultados de la amplitud de onda R-S (mv) mostraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de rampa a los 42 días, los pollos del grupo CR (0.0145) tuvieron mayor amplitud de la onda

R-S que los pollos del grupo NR. No se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) en el resto de los resultados para la amplitud de la onda R-S del electrocardiograma en los pollos de engorda por efecto de distancia o la interacción entre éstas.

En el Cuadro H, los resultados del porcentaje de hematocrito (%) mostraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) a los 35 d por efecto de la distancia, los pollos del grupo 3m tuvieron mayor porcentaje de hematocrito que los pollos del grupo 8m, no se encontraron diferencias en el resto de las mediciones por efecto de distancia, rampa o la interacción entre estas.

### **Rendimiento productivo**

Se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en el peso (g) de los pollos de engorda a los 49 días de edad (Cuadro 5) por efecto de distancia, los pollos del grupo 3m fueron 135 g más pesados que los pollos del grupo 8m, no se observaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) con respecto a los otros días evaluados entre ambos grupos. También se encontraron diferencias significativas a los 28, 35, 42 y 49 días por efecto de rampa, los pollos del grupo NR fueron consistentemente más pesados que los pollos del grupo CR. Las diferencias en el peso corporal fueron 54 g a los 28 días, 76 g a los 35 días, 112 g a los 42 días y 165 g a los 49 días. En el mismo cuadro se muestran los resultados de consumo de alimento (g) en el cual se observaron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) por efecto de distancia a los 42 días, los pollos criados en el grupo 8m tuvieron incremento en consumo de alimento comparados con los pollos del grupo 3m. También se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) a los 35, 42 días y en el consumo total por efecto de rampa, los pollos de los grupos NR tuvieron mayor consumo de alimento comparados con

los pollos de los grupos CR. Sin embargo, en los resultados para conversión alimenticia no hubo diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos (Cuadro 5).

Los resultados para ganancia de peso (g) indicaron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) de 0 a 42 días por efecto de rampa (datos no mostrados), los pollos del grupo NR fueron 112 g más pesados que los pollos del grupo CR. No se observaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) en el resto de las mediciones por efecto de distancia, rampa o por la interacción entre ambas.

Cuadro 5 peso vivo corporal de pollos de engorda (g), consumo de alimento (g) y proporción de conversión alimenticia [(unidades) (kg alimento consumidos / kg de carne producidos)] a diferentes edades (d) de pollos de engorda machos en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>

Distancia	Peso corporal <sup>3</sup>				Consumo de alimento <sup>3</sup>			Conversión alimenticia <sup>3</sup>
	d 28	d 35	d 42	d 49	d 0-28	d 0-35	d 0-42	d 0-42
3m	1214	1832	2509	3522 <sup>a</sup>	1787	2926	4028 <sup>b</sup>	1.61
8m	1201	1836	2539	3387 <sup>b</sup>	1792	2960	4165 <sup>a</sup>	1.64
EE	12.8	12.53	26.69	26.70	22.43	25.85	57.70	0.02
P	0.50	0.84	0.45	<0.001	0.79	0.24	0.04	0.21
Rampa								
No rampa	1235 <sup>a</sup>	1872 <sup>a</sup>	2580 <sup>a</sup>	3537 <sup>a</sup>	1789	2972	4205 <sup>a</sup>	1.63
Con rampa	1181 <sup>b</sup>	1796 <sup>b</sup>	2468 <sup>b</sup>	3372 <sup>b</sup>	1790	2914	3989 <sup>b</sup>	1.62
EE	12.76	12.53	26.69	26.70	22.43	25.85	57.70	0.02
P	0.01	<0.001	0.01	<0.001	0.99	0.05	0.01	0.64

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron interacciones para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 4 corrales o repeticiones

a,b Medias con diferente superíndice dentro de la misma columna y dentro del mismo efecto principal son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ )

## ***Discusión***

La hipótesis de este trabajo de investigación fue que el ejercicio moderado en los pollos de engorda podría reducir las lesiones relacionadas con la mala integridad esquelética y del tendón, mejorar el rendimiento productivo a través mantener la habilidad para caminar, el bienestar animal, la función cardiopulmonar y el suministro de sangre al músculo-esquelético. Weeks (2002) mencionó que los pollos de engorda de lento crecimiento gastan dos veces más tiempo caminando que los pollos de engorda de rápido crecimiento a las 6 semanas de edad. También Reiter y Kutritz, 2001 reportaron que a las 5 semanas de edad, los pollos de engorda de lento crecimiento caminaron 4.4% de su tiempo de vida, mientras que los de rápido crecimiento caminaron 1.5% del tiempo, ambos con una densidad de 20 aves por m<sup>2</sup>. Estos reportes concuerdan con los resultados de Bokkers y Koene (2003), quienes mantuvieron a pollos de engorda con baja densidad (4 aves por m<sup>2</sup>) y encontraron que los de lento crecimiento caminaron 6.7% del tiempo a las 6 semanas de edad, mientras que los de rápido crecimiento caminaron 2%. El porcentaje caminado disminuyó a 5.8% en los de lento crecimiento y a 1.2% en los de rápido crecimiento a las 12 semanas de edad. El tiempo empleado en caminar es bajo en ambos casos (lento y rápido crecimiento) comparado con aves de la línea de postura (13.4% a las 6 semanas de edad).

Su *et al.* (1999) indicaron que la prevalencia de problemas de patas fue relativamente moderada y estuvo acompañada con disminución en el ritmo de crecimiento. Kestin (2001) evaluó 13 genotipos de aves representando un amplio rango de perfiles de crecimiento y concluyó que la prevalencia de los problemas de patas en pollos se afectó por el ritmo de

crecimiento y el peso vivo, de esta forma postuló la hipótesis de que los problemas de patas en los pollos de engorda son el resultado de la selección para rápido crecimiento, debido a que los pollos de engorda de rápido crecimiento a menor edad son más pesados, este incremento de peso es soportado por huesos y articulaciones relativamente inmaduros.

Mench, (2004) indica que los problemas de patas en los pollos de engorda es una preocupación que amerita más estudios; por su parte Thorp (1994) menciona que las anomalías esqueléticas están asociadas a desordenes de patas. Algunos reportes Corr *et al.*, (2003a, b) han sugerido que una causa es un desequilibrio entre la ganancia de peso corporal y la diferenciación esquelética.

Kestin *et al.*, 1999 reportaron que evaluaron cuatro cruzas de líneas comerciales de pollos de engorda y encontraron pequeñas diferencias en el peso corporal y eficiencia alimenticia entre las cruzas comerciales; sin embargo, observaron grandes diferencias en algunos de los índices de problemas de patas entre las cruzas. Hubo notables diferencias en la habilidad para caminar entre cruzas y también encontraron diferencias entre las cruzas en prevalencia de quemaduras en las patas y angulación de la articulación tibio tarsal.

Una gran proporción de los problemas de patas observados en las explotaciones comerciales de pollos está relacionada con la rápida velocidad de crecimiento temprana (Wise, 1975; Hartmann y Flock, 1979). Esto ha llegado a ser tan claro que, a través de muchos factores que causan los problemas de patas se pueden exacerbar aquellos causados por mala nutrición. Los problemas de patas pueden afectar aspectos económicos y de bienestar del animal aun cuando se proporcionan todos los nutrientes necesarios (Poulos *et*

*al.*, 1978). Hay evidencias de las diferencias en la habilidad para caminar entre cruces de líneas comerciales de pollos de engorda (Kestin *et al.* 1992).

### **Resistencia a la rotura de los huesos**

Los pollos de engorda gastan alrededor de 80% del tiempo postrados (Weeks, *et al.*, 2000), sugiriendo que la falta de ejercicio es un factor responsable de la falta de fortaleza en los huesos largos. La resistencia a la rotura de las tibias se incrementa proporcionalmente con el contenido de cenizas. En el presente estudio no se encontraron diferencias ( $p \geq 0.05$ ) entre tratamientos a 28, 35 y 42 días de edad; sin embargo, a los 49 días las aves del grupo 8m tuvieron una tendencia ( $P=0.096$ ) a tener mayor resistencia a la rotura que las aves del grupo 3m, probablemente no se encontraron diferencias debido a que el número de aves por  $m^2$  fue tan bajo que los pollos tuvieron suficiente espacio para moverse libremente, esto significa que los pollos estuvieron clínicamente sanos y por lo tanto todos tuvieron la posibilidad de moverse moderadamente (Cuadro 1). Algunos autores no encontraron diferencias en la resistencia a la rotura en pollos de engorda, lo cual coincide con los resultados del presente estudio, cabe mencionar que se observó que a los 42 y 49 días de edad algunas tibias alcanzaron el límite máximo (550, N) en el analizador de texturas para la prueba de resistencia a la rotura. Además, parece que el método empleado tiene alta variabilidad, si los huesos de los pollos presentan elevada resistencia a la rotura, los resultados podrían verse parcialmente limitados por la capacidad del analizador de textura. Powell *et al.* 2008 informaron que la suplementación de 600 unidades de fitasa por Kg de alimento disminuyó el crecimiento de los pollos en algunos períodos pero no tuvo efecto en

la resistencia a la rotura de los huesos en pollos de engorda. Venalainen *et al.* 2006 reportaron que la concentración de energía metabolizable o fósforo disponible no tuvo efecto en la resistencia a la rotura de la tibia en pollos de engorda. Por el contrario, otros autores reportaron diferencias significativas en la resistencia en la rotura de las tibias de pollos de engorda, por ejemplo Shaw *et al.* (2010) indicaron que el crecimiento y el rendimiento de los pollos de engorda puede afectarse por la edad de la parvada materna, el sexo de los pollos y el fósforo no fítico de la dieta, y encontraron diferencias significativas por efecto del incremento del fósforo no fítico en el peso corporal, conversión alimenticia y resistencia a la rotura de la tibia. Hemme *et al.* (2005) reportaron diferencias por efecto de diferentes fuentes de fósforo. Lewis *et al.* (2009) encontraron diferencias significativas entre pollos de engorda Cobb y Ross por efecto del fotoperiodo, los pollos Ross tuvieron mayor resistencia a la rotura de las tibias que los pollos Cobb; sin embargo, no mencionan la densidad de aves/m<sup>2</sup> que utilizaron. McDevitt *et al.*(2006) reportaron diferencias por efecto de genotipos en pollos de engorda, pero no encontraron diferencias por los niveles de nutrientes en la dieta, También se han realizado varios estudios de resistencia a la rotura en tibias de gallinas de la línea genética White Leghorn cuya principal característica es que son gallinas ligeras de lento crecimiento, lo cual permite la mineralización adecuada del hueso, Anderson y Adams (1994) no encontraron diferencias significativas por efecto de tratamientos durante la crianza en jaulas y corrales en piso; sin embargo, Jendral *et al.* (2008) encontraron diferencias por efecto de diferentes condiciones de alojamiento en pollas de la misma línea genética. Mientras que Baird *et al.* (2008) mencionaron que no encontraron diferencias por efecto de ácidos grasos omega-3.

## **Resistencia a la rotura del tendón**

Nakagaki *et al.* (2007) y Shipov *et al.* (2010) indicaron que aves a las cuales se les permitió caminar tuvieron mejor estructura de huesos y tendones que las aves que se mantuvieron en jaulas. Julian (1998) mencionó que el rápido crecimiento puede resultar en una disminución del suministro de sangre y en degeneración vascular o disminución de la fortaleza del tendón. La ruptura de tendón gastrocnemius ocurre frecuentemente en los pollos viejos, gallos y reproductoras pesadas de pollos de engorda, El tendón gastrocnemius se separa por tensión justo por encima de la articulación tibio tarsal. Cuando la lesión es bilateral, los pollos permanecen postrados sobre sus tarsos, esta condición es el resultado de pesos excesivos y disminución del desarrollo del tendón. En el presente estudio se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en la resistencia a la ruptura por tensión (N) del tendón calcáneo en pollos de engorda a los 49 días de edad, por efecto de rampa, los pollos del grupo NR, mostraron valores más altos que los pollos en CR; sin embargo, no se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) por efecto de distancia, o la interacción distancia x rampa (Cuadro 1). Probablemente, esto significa que con el uso de las rampas los pollos se dañaron sus articulaciones y tendones debido a que con la rampa se representó un ejercicio más severo, esto concuerda con los resultados publicados por Wideman *et al.* (2012) quienes utilizaron una rampa para inducir la presencia de problemas de patas. Muchos estudios han mostrado que los entrenamientos físicos promueven cambios bioquímicos y biomecánicos, tales como el incremento del contenido de colágeno en los tendones de animales adultos, (Viidik 1969; Woo *et al.*, 1980; Buchanan y Marsh 2001). Nakagaki *et al.* (2007) mencionaron que la actividad física espontanea (actividad física no forzada) afectó las propiedades

bioquímicas y biomecánicas del tendón calcáneo en tres diferentes edades en pollos de engorda. El ejercicio incrementó la fortaleza del tendón después del quinto mes y la absorción de energía en el octavo mes. La fortaleza del tendón se incrementa con la edad.

## **Densidad ósea**

La densidad ósea es la relación de la masa ósea y su volumen; el mantenimiento de ésta es importante para la fortaleza de los huesos. La densidad ósea baja incrementa los riesgos de fracturas durante el procesamiento e incrementa la incidencia de huesos rotos causando acumulación de fragmentos en el músculo esquelético debido a la elevada porosidad y fragilidad (Rath *et al.*, 2000). En el presente estudio se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ), el ejercicio moderado mejoró la densidad de los huesos, los pollos del grupo 8m tuvieron mayor densidad ósea que los pollos del grupo 3m a los 28 días de edad (Cuadro 2). La alimentación restringida en pollos de engorda de rápido crecimiento mejoró la mineralización y porosidad al nivel observado en la tibia de los pollos de engorda de lento crecimiento, sugiriendo que el ritmo de crecimiento y no el genotipo fue el principal factor de la baja calidad ósea (Williams *et al.*, 2003).

Barreiro *et al.* 2009 mencionaron que los valores de radiografías de densidad ósea (BRD) incrementaron con la edad ( $P \leq 0.05$ ) y en todas las regiones (epífisis proximal, diáfisis y epífisis distal), concluyeron que el crecimiento fue un factor determinante de la calidad de los huesos, demandando un alto BRD durante el desarrollo de los pollos de engorda. La epífisis proximal de la tibia presentó altos valores BRD en relación a las otras regiones del hueso ( $P \leq 0.05$ ), como un resultado de una posible adaptación mecánica para los ligamentos

y la tensión de los tendones musculares en esta región, permitiendo el soporte del incremento de la masa muscular. Sin embargo, Talaty *et al.*, (2010) mencionaron que los machos con baja habilidad para caminar tuvieron mayor densidad mineral ósea que los de buena habilidad para caminar.

### **Contenido de cenizas óseas**

La cenizas del hueso son un material de color blanco producido por la calcinación de los huesos, está compuesto principalmente de fosfato de calcio, según Brickett *et al.* (2007) un alto contenido de cenizas óseas podría deberse a un incremento en la actividad. En el presente estudio a los 35 días de edad los pollos del grupo CR tuvieron 1% mayor contenido de cenizas que los pollos del grupo NR (Cuadro A.). Probablemente, esto significa mayor mineralización del hueso y mayor fortaleza pero no necesariamente mejor estructura del tendón. Barreiro *et al.* (2009) reportaron diferencias significativas en contenido de cenizas en la tibia a diferentes edades en pollos de engorda. Usualmente los machos tienen menor contenido de cenizas que las hembras (Brickett *et al.*, 2007). Kilburn y Edwards Jr. (2004) reportaron que los pollos alimentados con dietas semi-purificadas tuvieron menor contenido de cenizas a los 16 días de edad.

### **Mediciones de la tibia**

Bizeray, *et al.* (2002) sugirieron que la falta de ejercicio es una de las causas responsable de la falta de fortaleza en la estructura de los hueso largos, lo que resulta en alta incidencia de piernas torcidas en pollos de engorda de líneas genéticas comerciales y concuerda con Reiter y Bessei (1997) quienes mencionan que el incremento de la actividad locomotora

puede significar la reducción de la incidencia de los problemas de patas en los pollos de engorda. En el presente estudio se encontraron diferencias significativas por efecto de distancia a los 35 días de edad en el diámetro proximal (mm) de la tibia siendo 0.6 mm más grueso en los pollos del grupo 3m que en los pollos de engorda del grupo 8m (datos no mostrados). Este engrosamiento puede significar huesos más fuertes, probablemente los pollos del grupo 3m estuvieron más motivados para visitar mayor número de veces el comedero y el bebedero que los pollos del grupo 8m, esto significa que los pollos del grupo 3m hicieron más ejercicio que los pollos del grupo 8m . Bizeray *et al.* (2002) reportaron mayor diámetro de la diáfisis de la tibia de los pollos de engorda (lo cual significa huesos más fuertes) cuando las barreras fueron puestas entre los comederos y bebederos, en este caso las barreras no incluyeron el uso de rampas.

### **Latencia a postrarse**

Esta prueba está basada en el hecho de que el contacto corporal de los pollos con el agua es una novedosa y aversiva experiencia para las aves de engorda. Se registra el tiempo que tarda cada ave hasta que se posa en el agua, de acuerdo con el principio de que mientras más saludables estén las piernas de las aves, tardará más tiempo para evitar el contacto con el agua. En el presente estudio no se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) en la prueba de latencia a postrarse en los pollos de engorda (Figura 3). Esto significa que todos los pollos estuvieron relativamente sanos y concuerda con los resultados de la habilidad para caminar. Berg y Sanotra (2003) registraron el tiempo que permanecieron de pie antes de hacer el primer intento de postrarse, Sus resultados mostraron un clara y negativa correlación ( $r = -$

0.86,  $P < 0.001$ ) entre el tiempo que permanecieron de pie y la calificación de la habilidad para caminar.

### **Calificación de la habilidad para caminar.**

La locomoción no solamente es importante en el desarrollo sino que también mejora la vascularización, la cual precede a la mineralización de la placa de crecimiento (Thorp y Duff 1988). Reiter y Bessei (2009) reportaron mejoramiento de la locomoción así como reducción en los desórdenes de las piernas sin reducir la productividad, cuando los comederos y los bebederos se colocaron a 2 m de separación. En el presente estudio los resultados de la calificación de la habilidad para caminar no mostraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) por efecto de la interacción distancia x rampa a los 35, 42 y 49 días de edad. Sin embargo, se encontraron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) en el total de la calificación de la habilidad para caminar (significa un recuento global de todas las aves evaluadas desde el día 21 hasta el día 49), los pollos de engorda del grupo CR mostraron mejores indicadores de bienestar, lo cual significó un incremento de 20% de pollos con grado cero y menos pollos con otros grados en la calificación de la habilidad para caminar. En el grado cinco de la habilidad para caminar no se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) entre tratamientos a ninguna edad debido a que los pollos no presentaron lesiones correspondientes a esta calificación Cuadro D). Esto muestra una ligera tendencia de más pollos sanos con el ejercicio moderado, otros autores mencionan que los problemas de patas son más comunes en pollos viejos, debido a la correlación positiva entre la calificación de la habilidad para caminar y el peso corporal (Su *et al.*, 1999; Venalainen *et al.*, 2006; Brickett *et al.*, 2007). La relación entre la

calificación de la habilidad para caminar y el peso corporal se ha examinado usando modelos de regresión lineal. Estos modelos han demostrado ser útiles para identificar las diferencias entre tratamientos en más detalle, especialmente cuando las aves con calificaciones de 4 y 5 se eliminan. Sin embargo, se reporta que la relación entre la calificación de la habilidad para caminar y el peso corporal de una parvada no es lineal (Kestin *et al.*, 1992, 1999; Sorensen *et al.*, 1999). Las aves con calificación de la habilidad para caminar de 4 y 5 son más ligeras porque no compiten por alimento y agua y por lo tanto alteran la relación. Previos estudios han indicado que muchas de las aves con calificación de la habilidad para caminar de 4 y 5 tienen infecciones en las articulaciones y huesos (Kestin *et al.*, 1992) y que la habilidad para caminar de los pollos de engorda se deteriora con la edad (Sorensen *et al.*, 2000; Venalainen *et al.*, 2006; Brickett *et al.*, 2007). Kestin *et al.*, 1999 mencionaron que la calificación de la habilidad para caminar difiere entre líneas genéticas de pollos de engorda, en el mismo sentido Talaty *et al.*, 2010 encontraron diferencias significativas entre cuatro diferentes cruza comerciales de pollos de engorda. Lo anterior sugiere que se deberían seleccionar las aves con mejor calificación de la habilidad para caminar. Por otro lado los pollos de engorda machos tienen mayores calificaciones en la habilidad para caminar que las hembras, esta diferencia en la habilidad para caminar entre sexos podría atribuirse a una inadecuada mineralización de los huesos debido al rápido crecimiento de los machos.

Dawkins *et al.* (2004) documentaron que el manejo del ambiente de la caseta es crucial para el bienestar de las aves, enfatizando que la densidad es muy importante, estos autores reportaron que densidades de 42 y 46 kg/m<sup>2</sup> hay pocas aves con excelente calificación de la

habilidad para caminar es decir grado cero, sin embargo las tasas de deshecho no fueron tan altas. Bokkers, (2009) mencionaron que la densidad y el alto ritmo de crecimiento de las líneas utilizadas son factores que favorecen la presencia de problemas de bienestar animal en la producción convencional de pollos de engorda y coinciden con Bessei (2006) quienes señalaron que una alta densidad reduce la libertad de movimiento, y afecta negativamente la calidad de la cama y del aire, de manera que las bajas densidades reducen la prevalencia de los problemas de patas, estos dos últimos reportes también coinciden con Sorensen *et al.* (2000) quienes reportaron que altas densidades se asocian con mala habilidad para caminar y reducción del peso vivo, además de comprometer las variables productivas, altas densidades también pueden afectar el bienestar animal de las aves.

### **Presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y los corvejones**

Las condiciones desfavorables de alojamiento, tales como la humedad y los irritantes de compuestos químicos de la cama, se asocian con lesiones en las almohadillas de las patas (Ekstrand *et al.*, 1998). La densidad, la actividad de las aves y la localización de las casetas afectan la calidad de la cama (Gordon, 1992; Su *et al.*, 2000; Tasistro *et al.*, 2004). Kestin *et al.* (1999) reportaron correlaciones positivas entre la calificación de la habilidad para caminar y la presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y los corvejones. En los resultados del presente estudio para la presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y los corvejones con grado 3 no se encontraron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) a ninguna edad debido a que no se presentaron pollos con lesiones de esta calificación, probablemente

por efecto de la baja densidad (Cuadro E). Las lesiones de las almohadillas de las patas afectan el bienestar animal porque estas podrían causar dolor. Nielsen *et al.* (2003) encontraron 75.5% de lesiones en las almohadillas de las patas de los pollos con rápido crecimiento y 1.5% en los de lento crecimiento a los 84 días de edad. Además, 78.3% de los pollos con rápido crecimiento tuvieron lesiones en las almohadillas de las patas a los 40 días de edad comparados con 5.4% de los pollos de lento crecimiento a los 50 días (van Horne *et al.*, 2003). Lo cual coincide de manera similar con Pagazaurtundua and Warriss (2006) quienes reportaron que 14.8% de los pollos de rápido crecimiento criados convencionalmente presentaron lesiones en las almohadillas de las patas a los 39 días de edad, mientras que sólo 9.6% de los pollos de lento crecimiento presentaron lesiones a los 49 días de edad. Rodenburg *et al.* (2004) encontraron más lesiones en las almohadillas de las patas de los pollos de engorda de rápido crecimiento (88.5% a los 41 días de edad) que en los pollos de engorda de medio-lento crecimiento (16% a los 55 días de edad) cuando tuvieron una puerta de salida al aire libre. En otro experimento los pollos de rápido crecimiento tuvieron mayor presencia de lesiones en las almohadillas de las patas (83.5% a los 41 días de edad) que los pollos de engorda de medio-lento crecimiento (11.5% a los 55 días de edad) cuando los pollos de engorda permanecieron en ambientes cerrados. En ambas situaciones los pollos de engorda de rápido crecimiento tuvieron mayor prevalencia de lesiones en las almohadillas de las patas que los de medio-lento crecimiento. Dozier *et al.* (2005) encontraron que la densidad altera las calificaciones de las almohadillas de las patas por el incremento del apelmazamiento de la cama. Dawkins *et al.* (2004) y Haslam *et al.* (2006) encontraron relación entre la calidad de cama, concentración de amoníaco y

dermatitis en las almohadillas de las patas. La calidad de la cama puede ser afectada por la ventilación en la caseta (Ekstrand *et al.*, 1998; Feddes *et al.*, 2002), la densidad (Sorensen *et al.*, 2000), tipo de cama y el contenido de humedad (Su *et al.*, 2000; Bradshaw *et al.*, 2002; Dawkins *et al.*, 2004; Meluzzi *et al.*, 2004), por el comportamiento de las aves, composición de la dieta así como el número y diseño de los bebederos en la caseta (Lynn and Elson, 1990; Jones *et al.*, 2005). Sorensen *et al.* (2000) reportaron que la alta densidad resultó en mayor presencia de quemaduras en las almohadillas de las patas y en los corvejones. Bokkers (2009) reportó que la producción orgánica produjo mejor rendimiento que el sistema convencional para los indicadores sociales relacionados con el bienestar animal y el tiempo empleado para caminar, menos aves con lesiones en las almohadillas de las patas, menor mortalidad, y piernas más sanas. Kestin *et al.* (1999) mencionan que la presencia de las quemaduras en las almohadillas de las patas están relacionadas con dolor y se podría predecir que existe una correlación positiva con la calificación de la habilidad para caminar. Estudios previos sugieren que estas condiciones no son meramente una función de mal manejo, sino que son diferencias reales propiciadas por diferentes densidades.

Kristensen y Wathes (2000) reportaron que el grado de las quemaduras en las almohadillas de las patas se relacionan mejor con las aves que obtuvieron calificación cero (88.9%) durante el verano que en el invierno (71.6%) ya que pocas aves con calificación cero tuvieron prevalencia de quemaduras en las almohadillas de las patas (8.8% en el verano y 30.3% en el invierno).

## **Angulación valgus o varus**

La deformidad angular del hueso es un defecto de los huesos largos de los pollos de engorda con una ración nutricionalmente adecuada (Julian, 1984). Cuando los pollos de engorda jóvenes son afectados usualmente llegan a quedar lisiados y no pueden obtener agua y alimento. Si solamente una de las piernas se afecta, las aves no pueden postrarse. El dolor asociado con la deformidad reduce la actividad y restringe la alimentación, estos pollos de engorda pueden ser decomisados por adelgazamiento en el rastro. En el presente estudio los resultados para el porcentaje de pollos que presentaron angulación valgus o varus no presentaron diferencias ( $P \geq 0.05$ ) por efecto de distancia, rampa o la interacción distancia x rampa a ninguna edad (Cuadro F.).

Sorensen *et al.* (2000) reportaron que la alta densidad no afectó la angulación de la articulación tibio tarsal, por lo que la baja densidad de población que se usó en el presente estudio probablemente no tuvo efecto sobre estos resultados.

## **Rendimiento de la canal**

Existen muy pocos datos sobre rendimiento de la canal relacionado con el ejercicio moderado. En el presente experimento de investigación los pollos del grupo 8m tuvieron menor grasa abdominal que los pollos en el grupo 3m (Cuadro 3), mientras que los pollos del grupo CR tuvieron mayor rendimiento de canal que los pollos en el grupo NR. Las diferencias entre el rendimiento de la canal caliente y el rendimiento de la canal fría, muestran un incremento en el rendimiento de la canal fría comparada con el rendimiento de la canal caliente, este incremento probablemente se debió a un efecto de rehidratación,

cuando las canales fueron enfriadas en un contenedor grande en contacto directo con hielo, independientemente de si es en caliente o en frío, los resultados indican consistentemente que no se encontraron diferencias por efecto de distancia, sin embargo los pollos en el grupo CR tuvieron significativamente mayor rendimiento de la canal que los pollos en el grupo NR, con estos resultados podemos concluir que el ejercicio moderado mejoró el rendimiento de la canal y disminuyó la deposición de grasa abdominal, cabe mencionar que los machos tienen mayor rendimiento en canal y menos grasa abdominal que las hembras (Cruz-Hernandez *et al.*, 2011 datos no publicados).

### **Contenido de grasa abdominal**

En general, la acumulación de grasa corporal puede ser considerada el resultado del balance entre la grasa absorbida de la dieta, la síntesis endógena de grasa (lipogénesis) y el catabolismo de la grasa por la  $\beta$ -oxidación (lipólisis). Por lo tanto, en algunos casos en que la cantidad de grasa absorbida es la misma, baja deposición de grasa puede ser atribuida a un incremento en el catabolismo o una disminución endógena en la síntesis de ácidos grasos o ambas. (Lara and Baiao 2005). La grasa abdominal depositada en los pollos proviene del consumo de energía que sobra después de cubrir los requerimientos de mantenimiento y ganancia de peso. Sí comparamos dos dietas con diferentes niveles de energía (3,000 y 3,200 kcal ME/Kg de alimento) basados en un consumo similar de alimento (g/ave/día) esperaríamos que los pollos alimentados con una dieta más alta en energía, obtuvieran mayor ganancia de peso que los pollos con dieta con bajo contenido de energía, además de esto sería lógico pensar que los pollos con la dieta alta en energía

tuvieran mayor deposición de grasa abdominal que los pollos con la dieta de bajo contenido energético. Sin embargo, que pasaría con una dieta isoenergética para dos grupos de pollos con idéntico consumo de alimento (g/ave/día), un grupo testigo y el otro sometido a un ejercicio moderado a través de incrementar las distancias entre los comederos y los bebederos, (3m y 8m), podríamos esperar menor peso corporal y menor deposición de grasa abdominal en los pollos sometidos a ejercicio moderado, además de esto en el presente estudio, los pollos de engorda sometidos a un ejercicio moderado incrementaron su consumo de alimento debido a que sus necesidades de mantenimiento, que incrementaron por la mayor locomoción,. Cabe mencionar que no se observaron diferencias en el rendimiento de la canal por efecto de distancia (Cuadro 3).

Lo opuesto ocurrió cuando comparamos dos grupos de pollos de engorda (CR y NR) donde los pollos del grupo CR presentaron menor consumo de alimento que a su vez se reflejó en menor peso corporal, comparado con los pollos del grupo NR, sin embargo no se observaron diferencias en conversión alimenticia, y los datos mostraron que el ejercicio moderado mejoró significativamente el rendimiento de la canal caliente 1.4% (1.2% en canal fría) comparado con los pollos del grupo NR (Cuadro 3).

### **Color de la carne**

El color es importante cuando la carne de aves se compra, se almacena y se cocina. Con frecuencia un atractivo considerado para la compra es un color brillante. La mioglobina es la proteína responsable de la mayor parte del color rojo. La mioglobina no circula en la sangre pero se fija en los tejidos y es de color morado. El resto del color proviene de la

hemoglobina la cual está presente en la sangre, pero una pequeña cantidad puede encontrarse en el tejido después del sacrificio.

El color también es influenciado por la edad del animal, la especie, el sexo, la dieta e incluso el nivel de ejercicio que hicieron. La carne de animales viejos será de color rojo oscuro porque el nivel de la mioglobina incrementa con la edad. Los músculos ejercitados siempre son de color oscuro, lo cual significa que en el mismo animal puede haber variación de color en sus músculos.

Los resultados de la comparación de medias para el color de la canal fría (120 minutos postmortem) en los muslos de pollo sin piel mostraron diferencias ( $p \leq 0.05$ ) por la interacción distancia x rampa. Los valores de enrojecimiento  $a^*$  y amarillamiento  $b^*$  en los pollos de engorda del grupo 8mNR fueron mayores que en el resto de los tratamientos, esto se traduce en un color más intenso, probablemente porque los pollos del grupo 8mCR tuvieron la rampa entre los comederos y bebederos, además de mayor distancia entre los implementos (ocho metros) así que necesariamente los pollos en este tratamiento hicieron más ejercicio e incrementaron los niveles de hemoglobina debido a los altos requerimientos de oxígeno (Cuadro 4). La miopatía pectoral profunda, es una necrosis isquémica que se desarrolla en el músculo pectoral profundo y ha sido ligada a la selección intensiva para rápido crecimiento y desarrollo del músculo (Bilgili *et al.*, 2000). El incremento de la masa muscular ocluye los vasos sanguíneos, reduciendo el flujo lo que conduce a la isquemia muscular (falta de oxígeno). También se ha postulado que la inactividad de las aves durante el crecimiento reduce la elasticidad del músculo, además de disminuir el flujo sanguíneo,

particularmente después de las actividades repentinas como aletear (Bianchi *et al.*, 2006). Otro factor importante que determina la calidad de la carne es el pH. El valor de pH de la carne es determinado en gran medida por la transformación del glucógeno en ácido láctico. La carne con bajo valor de pH es pálida tiene baja capacidad de retención de agua, bajo rendimiento de cocción y menor funcionalidad (Debut *et al.*, 2003). Así que el retiro de alimento antes del sacrificio podría conducir a disminuir los niveles de glucógeno muscular que podrían afectar el color de la carne.

### **Densidad de población en la salud de la pierna**

En el presente experimento se utilizó baja densidad de población (4.0 aves/m<sup>2</sup>) esto es importante porque la baja densidad de población tiene efectos benéficos en la conversión alimenticia y el peso corporal (Pesti y Howarth 1983; Sorensen *et al.* 2000), calidad de la cama (Guardian *et al.* 2011), salud de las piernas y menor prevalencia de lesiones en las almohadillas de las patas y los corvejones (Sorensen *et al.*, 2000; Ventura *et al.*, 2010), se reduce la prevalencia de daños en la habilidad para caminar y problemas de patas (Sorensen *et al.* 2000; Sanotra, *et al.* 2002), pero especialmente es importante mencionarlo porque probablemente esto afectó la fortaleza del hueso debido a que más espacio para caminar significa la posibilidad de incrementar el ejercicio moderado no forzado, lo suficiente para mejorar la fortaleza de las tibias comparado con mayores densidades de población actualmente utilizadas en sistemas convencionales de hasta 14 aves/m<sup>2</sup> o más en sistemas con ventilación automática. En la presente investigación se utilizaron pollos de la estirpe Cobb 500 donde los datos para la resistencia a la rotura de las tibias están por arriba de 462

En a los 42 días de edad, esto es evidencia de la fortaleza y la salud de los pollos comparados con los resultados publicados por Lewis et al. (2009) donde ellos mencionan que las aves Ross (35.5 kg) tuvieron mayor resistencia a la rotura de las tibias que los pollos Cobb (31.9 kg) a los 40 días de edad y 2.4 kg de peso corporal en ambos genotipos. Así, que esto podría explicar porque no encontramos diferencias en esta variable y sugiere que se necesita hacer más investigación al respecto.

A pesar de que no se observaron diferencias significativas, en la fortaleza de las tibias, cabe mencionar que no se observaron huesos rotos o signos de anomalías en las piernas en ninguno de los pollos que se tomaron como muestra. Por lo tanto, los datos de resistencia a la rotura de la tibia podrían tener un valor limitado en la evaluación de los beneficios del ejercicio moderado para el bienestar de los pollos modernos.

### **Relación peso del ventrículo derecho y el peso total ventricular, y rendimiento cardiopulmonar**

La relación peso del ventrículo derecho y el peso total ventricular (VD: TV) es utilizada como una medida de los niveles de hipertensión, los cuales causan directamente la hipertrofia del ventrículo derecho en pollos de engorda Bautista-Ortega *et al.* (2012). Pollos criados en sistemas de traspatio, clínicamente sanos y presión normal de la arteria pulmonar tuvieron rangos de la relación VD: TV de 0.15 a 0.27, mientras que la hipertensión pulmonar sostenida provoca relación VD: TV por encima de 0.28 (Wideman, 2001). Los resultados obtenidos en este estudio indicaron que todas las aves del experimento fueron

clínicamente sanas (0.19 a los 49 días de edad) y no se encontraron diferencias por efecto de tratamientos (datos no mostrados).

### **Porcentaje del hematocrito**

La prueba de porcentaje del hematocrito en la sangre determina la proporción de glóbulos rojos en la sangre, El hematocrito se registra como porcentaje del volumen de glóbulos rojos en una muestra de sangre. Una muestra de sangre está compuesta principalmente de glóbulos rojos y blancos suspendidos en suero sanguíneo. Los niveles del hematocrito son gradualmente más altos conforme se incrementa la altitud, lo cual es el resultado de mayor demanda de oxígeno de los glóbulos rojos a una mayor altitud, donde hay una disminución de la concentración de oxígeno en la atmósfera. Un hematocrito bajo significa un porcentaje de glóbulos rojos por debajo de los límites inferiores normales, esta condición es conocida como anemia. Un mayor valor de hematocrito significa que el porcentaje de glóbulos rojos está por encima del límite superior normal, por ejemplo a elevada altitud. Las causas de un alto hematocrito podrían ser deshidratación o baja disponibilidad de oxígeno. El porcentaje del valor del hematocrito es una medida de la actividad eritropoyética para compensar la hipoxia crónica (Bautista-Ortega *et al.*, 2012). En el presente estudio el porcentaje del hematocrito osciló en un intervalo de 29 a 31% en todas las edades lo cual demuestra que los pollos estuvieron clínicamente sanos, por lo que la diferencia (1%) encontrada por efecto de distancia al día 35, fisiológicamente no se considera una diferencia que pueda impactar en la salud o el bienestar animal (Cuadro H).

## **Rendimiento productivo**

### **Mortalidad**

SCAHAW (2000) indicó que el rápido crecimiento, el cual resulta de la selección genética, la alimentación intensiva y los sistemas de manejo, es la principal causa de varios desordenes esqueléticos y enfermedades metabólicas que han sido causas importantes de mortalidad. Los pollos de engorda seleccionados para rápido crecimiento tienden a sufrir de problemas de patas, varias formas de enfermedades cardiacas, y tienen mayores tasas de mortalidad que las líneas genéticas de aves de lento crecimiento. El mismo autor señala que una buena ilustración de los efectos de la selección genética para mayores ritmos de crecimiento es una comparación del ritmo usual de mortalidad para pollos de engorda estándar (1% semanal), con aquellos pollos de lento crecimiento (0.25% semanal) y con pollas de postura (0.14% semanal). En este experimento se registró una mortalidad de 2.4% a los 49 días de edad, lo que es un indicador indirecto del bienestar animal (Datos no mostrados). La tasa promedio de mortalidad en las granjas comerciales es de 4% para sistemas convencionales después de los 43 días (Kwin, 2006) y alrededor de un 3% para sistemas orgánicos después de los 70 días de acuerdo con Tacken *et al.* (2003) y Vermeij (2004). En dos experimentos, la tasa promedio de mortalidad para pollos de engorda de rápido crecimiento fue de 4.8% a los 42 días y para pollos de engorda con medio-lento crecimiento fue de 1.5% a los 56 días de edad (Van Horne *et al.*, 2003; Brickett, *et al.*, 2007). Las anomalías del corazón se encontraron con mayor frecuencia en pollos de engorda de rápido crecimiento (22%) que en los pollos de lento crecimiento (4.3%) a las 12

semanas de edad (Bokkers y Koene, 2003). La mortalidad debida a desordenes cardiovasculares fue mayor en pollos de rápido crecimiento (2.1%) hasta los 42 días de edad que en pollos de medio-lento crecimiento (0.4%) a los 56 días de edad (Van Horne *et al.*, 2003). Kristensen y Wathes (2000) reportaron que la mortalidad fue menor en verano que en invierno (en verano 4.2%, en invierno 5.3%; así como la concentración de corticosteroides (en verano 8.6 ng/ml, en invierno 36.2 ng/ml.), los cuales están relacionados con el nivel de estrés en las aves, a mayor estrés mayor será la concentración de corticosteroides.

### **Peso corporal**

Los pollos de engorda modernos crecen en promedio de 40 hasta 2100 g en tan solo 6 semanas. Los resultados de este estudio indicaron que el ejercicio moderado tuvo un efecto sobre el peso corporal con una tendencia a disminuir el rendimiento productivo (Cuadro 5), lo cual concuerda con los reportes de Talaty *et al.*, (2010) quienes mencionaron que los machos con mala habilidad para caminar tuvieron mayores pesos corporales que los machos con buena habilidad para caminar. Sin embargo, deben realizarse más estudios al respecto. Bokkers (2009) mencionó que la selección genética para mayores tasas de crecimiento y bajas conversiones alimenticias en pollos de engorda se ha llevado a cabo satisfactoriamente, sin embargo la selección perjudicó el bienestar animal debido a los problemas de salud y a cambios de comportamiento (Savory, 2002; Bokkers and Koene, 2003; Turner *et al.*, 2003); cabe mencionar que estas elevadas tasas de crecimiento son diferentes para otras partes del cuerpo (Nestor *et al.*, 1985; Havenstein *et al.*, 2003), las

cuales provocan desbalances biomecánicos esqueléticos (Lilburn, 1994; Corr *et al.*, 2003a,b) e incrementan la susceptibilidad para los trastornos metabólicos (Scheele, 1996; Gonzales *et al.*, 1999; Havenstein *et al.*, 2003).

## ***Conclusiones***

De acuerdo con los objetivos de esta investigación los resultados muestran una tendencia marginal a mejorar la fortaleza de los huesos a los 49 días de edad, sugiriendo que hay efectos benéficos pero que este parámetro no es tan importante en la evaluación de la habilidad para caminar y los problemas de patas.

En los pollos de engorda el ejercicio forzado con el uso de rampas entre los comederos y los bebederos afectó negativamente la resistencia a la rotura del tendón, resultando en menor rendimiento productivo y no mejoró la fortaleza de los huesos ni del tendón calcáneo, esto sugiere que caminar sobre pendientes con inclinación mayor a 38° es perjudicial para los pollos pesados, y que la integridad del tendón podría ser importante en la habilidad de caminar.

El incremento de las distancias entre los comederos y los bebederos tiene algunos efectos benéficos en la habilidad para caminar, como lo demostró el incremento en la latencia a posarse y la disminución en la incidencia de las lesiones en las almohadillas de las patas, lo anterior aunado a bajas densidades en los pollos de engorda permiten un ejercicio moderado que contribuye a obtener mejores rendimientos productivos y mejorar la densidad ósea a los 49 d.

El incremento de la actividad debido a la separación entre comederos y bebederos no afectó el crecimiento y la eficiencia alimenticia, y podría tener efectos benéficos en la calidad de la carne por la reducción la cantidad de grasa en la canal.

### ***Agradecimientos***

Este trabajo de investigación fue financiado por el proyecto de investigación PM 114100 del convenio de colaboración TAMU-CONACYT. C. Arroyo-Villegas es estudiante de maestría en el Colegio de Postgraduados quien realizó su estancia académica de investigación en la Texas A&M University misma que fue financiada por el programa de Beca Mixta del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

## ***Referencias***

Anderson, K. E. and A. W. Admas. 1994. Effects of cage versus floor rearing environments and cage floor mesh size on bone strength, fearfulness and production of single comb white longhorn hens. *Poult. Sci.* 73:1233-1240.

Baird, H. T., D. L. Eggett and S. Fullmer. 2008. Varying ratios of Omega-6:Omega-3 fatty acids on the preand postmortem bone mineral density, bone ash and bone breaking strength of laying chickens. *Reseach Notes, Poult. Sci.* 87:323-328.

Barreiro, F. R., A. L. Sagula, O. M. Junqueira, G. T. Pereira and S. M. Baraldi-Artoni. 2009. Densitometric and biochemical values of broiler tibias at different ages. *Poult. Sci.* 88:2644–2648.

Bautista-Ortega, J., J. N. Stallone and C. A. Ruiz-Feria. 2012. Effects of arginine and antioxidant vitamins on pulmonary artery reactivity to phenylephrine in the broiler chicken. *Poult. Sci.* 90:112-120.

Berg, C., and G. S. Sanotra. 2003. Can a modified latency-to-lie test be used to validate gait-scoring results in commercial broiler flocks?. *Anim. Welf.* 12:655-659.

Bessei, W. 2006. Welfare of broilers: a review. *World's Poultry Science Journal*, 62: 455–466.

Bianchi, M., M. Petracci, A. Franchini, and C. Cavani. 2006. The occurrence of deep pectoral myopathy in roaster chickens. *Poult. Sci.* 85:1843-1846.

Bilgili, S. F., J. B. Hess, R. J. Lien, and K. M. Downs. 2000. Deep pectoral myopathy in broiler chickens. Proc. XXI World's Poult. Congr. Montreal, Canada.

Bizeray, D., C. Leterrier, P. Constantin, G. Le Pape, and J. M. Faure. 2002a. Typology of activity bouts and effect of fearfulness on behaviour in meat-type chickens. *Behav. Processes*. 58:45-55.

Bokkers, E.A.M. and Koene, P. 2003. Behaviour of fast- and slow growing broilers to 12 weeks of age and the physical consequences. *Applied Animal Behaviour Science*, 81:59–72.

Bokkers, E. A., and P. Koene. 2004. Motivation and ability to walk for a food reward in fast- and slow-growing broilers to 12 weeks of age. *Behav. Processes* 67:121-130.

Bokkers, E.A.M. and I.J.M. De Boer. 2009. Economic, ecological, and social performance of conventional and organic broiler production in the Netherlands. *Br. Poult. Sci.* 50:546-557.

Bradshaw, R. H., R.D. Kirkden and D. M. Broom. 2002. A Review of the Aetiology and Pathology of Leg Weakness in Broilers in Relation to Welfare. *Avian and Poultry Biology Reviews* 13 (2), 2002, 45±103.

Brickett, K. E., J. P. Dahiya, H. L. Classen, C. B. Annett, and S. Gomis. 2007. The impact of nutrient density, feed form, and photoperiod on the walking ability and skeletal quality of broiler chickens. *Poult. Sci.* 86:2117-2125.

Buchanan, C.I., and Marsh, R.L. 2001. Effects of long-term exercise on the biomechanical properties of the Achilles tendon of guinea fowl. *J. Appl. Physiol.*, 90, 164–171.

Burton, R. R., E. L. Besch, and A. H. Smith. 1968. Effect of chronic hypoxia on the pulmonary arterial blood pressure of the chicken. *Am J Physiol* 214:1438-1442.

Corr, S. A., M. J. Gentle, C. C. McCorquodale, and D. Bennett. 2003a. The effect of morphology on the musculoskeletal system of the modern broiler. *Anim. Welf.* 12:145–157.

Corr, S. A., M. J. Gentle, C. C. McCorquodale, and D. Bennett. 2003b. The effect of morphology on walking ability in the modern broiler: A gait analysis study. *Anim. Welf.* 12:159–171.

Dawkins, M. S., C. A. Donnelly and Tracey A. Jones. 2004. Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density. *Nature PublishingGroup* Vol. 427.

Debut, M., C. Berri, E. Baeza, N. Sellier, C. Arnould, D. Guemene, N. Jehl, B. Boutten, Y. Jego, C. Beaumont, and E. Le Bihan-Duval. 2003. Variation of chicken technological meat quality in relation to genotype and preslaughter stress conditions. *Poult. Sci.* 82:1829-1838.

Dozier, W.A. III, Thaxton, J.P., Branton, S.L., Morgan, G.W., Miles, D.M., Roush, W.B., Lott, B.D. and Vizzier-Thaxton, Y. (2005) Stocking density effects on growth performance and processing yields of heavy broilers. *Poultry Science*, 84: 1332–1338.

Ekstrand, C., Carpenter, T.E., Andersson, I. and Algers, B. 1998. Prevalence and control of foot-pad dermatitis in broilers in Sweden. *Br. Poult. Sci.*, 39: 318–324.

Feddes, J.J.R., Emmanuel, E.J. and Zuidhof, M.J. 2002. Broiler performance, bodyweight variance, feed and water intake, and carcass quality at different stocking densities. *Poult. Sci.* 81: 774–779.

Garner, J. P., C. Falcone, P. Wakenell, M. Martin, and J. A. Mench. 2002. Reliability and validity of a modified gait scoring system and its use in assessing tibial dyschondroplasia in broilers. *Br. Poult. Sci.* 43:355-363.

Gonzales, E., Buyse, J., Sartori, J.R., Loddi, M.M. and Decuypere, E. 1999. Metabolic disturbances in male broilers of different strains. 2. Relationship between the thyroid and somatotropic axes with growth rate and mortality. *Poult. Sci.* 78: 516–521.

Gordon, S.H. 1992. The effect of broiler stocking density on bird welfare and performance. *Br. Poult. Sci.*, 33:1120–1121.

Greene, J. A., R. M. McCracken, and R. T. Evans. 1985. A contact dermatitis of broilers clinical and pathological findings. *Avian Pathol.* 14:23-38.

Guardia, S., B. Konsak, S. Combes, F. Levenez, L. Cauquil, J.-F. Guillot, C. Moreau-Vauzelle, M. Lessire, H. Juin, and I. Gabriel. 2011. Effects of stocking density on the growth performance and digestive microbiota of broiler chickens. *Poult. Sci.* 90:1878:1889

Hartmann, W., and D. K. Flock, 1979. Line and family effects on the incidence of twisted legs in meat type chickens. Pages 1–8 *in*: Proceedings of 21st British Poult. Breeders Roundtable, Glasgow, U.K.

Haslam, S. M., Brown, S. N., Wilkins, L. J., Kestin, S. C., Warriss, P. D. and Nicol, C. J. 2006. Preliminary study to examine the utility of using foot burn or hock burn to assess aspects of housing conditions for broiler chicken. *Br. Poult. Sci.* 47:13–18.

Havenstein, G. B., Ferket, P. R. and Qureshi, M. A. 2003. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.* 82:1509–1518.

Hemme, A., M. Spark, P. Wolf, H. Paschertz and J. Kamphues. 2005. Effects of different phosphorus sources in the diet on bone composition and stability (breaking strength) in broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 89:129–133

Jandel Scientific. 1994. *SigmaStat Statistical Software User's Manual*. Jandel Scientific Software, San Rafael, CA.

Jendral, M. J., Jendral, D. R. Korver, J. S. Church and J. J. R. Feddes. 2008. Bone mineral density and breaking strength of white leghorns housed in conventional, modified, and commercially available colony battery cages. *Poult. Sci.* 87:828–837.

Jones, T. A., Donnelly, C. A. and Dawkins, M. S. 2005. Environmental and management factors affecting the welfare of chickens on commercial farms in the United Kingdom and Denmark stocked at five densities. *Poult. Sci.*, 84:1155–1165.

Julian, R. J., 1984. Valgus-varus deformity of the intertarsal joint in broiler chickens. *Can. Vet. J.* 25:254–258.

Julian, R. J. 1998. Rapid Growth Problems: Ascites and Skeletal Deformities in Broilers. *Poult. Sci.* 77:1773-1780.

Julian, R. J. 2007. The response of the heart and pulmonary arteries to hypoxia, pressure, and volume. A short review. *Poult. Sci.* 86:1006-1011.

Kestin, S. C., T. G. Knowles, A. E. Tinch, and N. G. Gregory. 1992. Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. *Vet. Rec.* 131:190-194.

Kestin, S. C., G. Su and P. Sorensen. 1999. Different commercial broiler crosses have different susceptibilities to leg weakness. *Poult. Sci.* 78:1085-1090.

Kestin, S. C., S. Gordon, G. Su, and P. Sorensen. 2001. Relationships in broiler chickens between lameness, live weight, growth rate and age. *Vet. Rec.* 148:195-197.

Kilburn, J. and H. M. Edwards, Jr. 2004. The effect of particle size of commercial soybean meal on performance and nutrient utilization of broiler chicks. *Poult. Sci.* 83:428–432.

Knowles, T. G., S. C. Kestin, S. M. Haslam, S. N. Brown, L. E. Green, A. Butterworth, S. J. Pope, D. Pfeiffer and C. J. Nicol. 2008. Leg disorders in broiler chickens: prevalence, risk factors and prevention. *PLoS ONE* 3(2):545 pp. 1-5.

Kristensen, E. K.M. and Wathes, C. M. 2000. Ammonia and poultry: a review. *World's Poult. Sci. J.* 56:235–245.

KWIN. 2006. Kwantitatieve Informatie Veehouderij (Wageningen, the Netherlands, Animal Sciences Group, Wageningen UR.

Lara, L.J.C., and N. C. Baiao. 2005. Oil and Fat in Broiler Nutrition. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 7:129-141.

Lewis, P. D., R. Danisman, and R. M. Gous. 2009. Photoperiodic responses of broilers. III. Tibial breaking strength and ash content. *Br. Poult. Sci.* 50:673-679.

Lynn, N. and Elson, A. 1990. Which drinkers reduce possible downgrades. *Misset World Poultry*, 1: 11–12.

Martland, M.F. 1985. Ulcerative dermatitis in broiler chickens: the effect of wet litter. *Avian Pathology*, 14:353–364.

Mcdevitt, R.M., G.M. Mcentee and K.A. Rance. 2006. Bone breaking strength and apparent metabolisability of calcium and phosphorus in selected and unselected broiler chicken genotypes. *Br. Poult. Sci.* 47:613-621.

Meluzzi, A., Sirri, F., Betti, M., Bianchi, C. and Franchini, A. 2004. Effect of stocking density, litter depth and light regimen on foot-pad disorders of broiler chickens. CD of Proceedings of XXII World's Poultry Congress, Istanbul.

Mench, J. 2004. Lameness. Pages 3–17 in *Measuring and Assessing Broiler Welfare*. C. Weeks and A. Butterworth, ed. CABI, Cambridge, MA.

Moller, A. P., G. S. Sanotra, and K. S. Vestergaard. 1995. Developmental stability in relation to population density and breed of chickens *Gallus gallus*. *Poult. Sci.* 74:1761-1771.

Nakagaki, W. R., A. Biancalana, G. P. Benevides, and L. Gomes. 2007. Biomechanical and biochemical properties of chicken calcaneal tendon under effect of age and nonforced active exercise. *Connect Tissue Res.* 48:219-228.

Nestor, K.E., Bacon, W.L., Saif, Y.M. and Renner, P.A. 1985. The influence of genetic increases in shank width on body weight, walking ability, and reproduction of turkeys. *Poult. Sci.* 64:2248–2255.

Nielsen, B.L., Thomsen, M.G., Sørensen, D.B. and Young, J.F. 2003. Feed and strain effects on the use of outdoor areas by broilers. *British Poultry Science*, 44: 161–169.

NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, 425 DC.

Pagazaurtundua, A. and Warriss, P.D. 2006. Levels of foot pad dermatitis in broiler chickens reared in 5 different systems. *Br. Poult. Sci.*, 47: 529–532.

Pesti, G. M., and B. Howard. 1983. Effects of population density on the growth, organ weights, and plasma corticosterone of young broiler chicks. *Poult. Sci.* 62:1080-1083.

Poulos, P. W., Jr., S. Reiland, K. Elvinger and S.-E. Olsson. 1978. Skeletal lesions in the broiler, with special reference to dyschondroplasia. Pathology, frequency and clinical significance in two strains of birds on high and low energy feed. *Acta Radiol. Suppl.* 358:229–275.

Powell, S., S. Johnston, L. Gaston and L. L. Southern. 2008. The effect of dietary phosphorus level and phytase supplementation on growth performance, bone-breaking strength and litter phosphorus concentration in broilers. 2008. *Poult Sci* 87:949-957.

Rath, N. C., G. R. Huff, W. E. Huff, and J. M. Balog. 2000. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. *Poult. Sci.* 79:1024–1032.

Reiter, K. and W. Bessei. 1997. Gait analysis in laying hens and broilers with and without leg disorders. *Equine veterinary journal* 23:110-112.

Reiter, K. & Kutritz, B. 2001. Behaviour and leg weakness in different broiler breeds. *Archiv für Geflügelkunde*, 65: 137–141.

Reiter, K. Bessei, W. 2009. Effect of locomotor activity on leg disorder in fattening chicken. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* 122:264-70.

Rodenburg, T.B., Coenen, E. and Van Harn, J. 2004. Goed gebruik overdekte uitloop. *Pluimveehouderij*, 34: 10–11.

Sanotra, G.S., J.D. Lund., K.S. 2002. Vestergaard. Influence of light-dark schedules and stocking density on behaviour, risk of leg problems and occurrence of chronic fear in broilers. *Br. Poult. Sci.* 43:344-54.

SAS Institute. 2007. SAS User's Guide. Version 9.1 ed. SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Savory, C.J. 2002. Effects of long-term selection for broiler traits. Proceedings of the 11th European WPSA conference, Bremen, Germany.

SCAHAW (Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare), 2000. The Welfare of Chickens Kept for Meat Production (Broilers). European Commission, Health and Consumer Protection Directorate-General, March 2000.

Scheele, C.W. (1996) Ascites in broilers, oxygen consumption and requirement related to its occurrence. PhD thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands.

Shaw, A. L., J. P. Blake and E. T. Moran. 2010. Effects of flesh attachment on bone breaking and of phosphorus concentration on performance of broilers hatched from young and old flocks. *Poult. Sci.* 89:295-302.

Shipov, A., A. Sharir, E. Zelzer, J. Milgram, E. Monsonogo-Ornan, and R. Shahar, 2010. The influence of severe prolonged exercise restriction on the mechanical and structural properties of bone in an avian model. *Vet. J.* 183:153-160.

Skinner-Noble, D. O., and R. G. Teeter. 2009. An examination of anatomic, physiologic, and metabolic factors associated with well-being of broilers differing in field gait score. *Poult. Sci.* 88:2-9.

Sorensen P., G. Su, and S. C. Kestin, 1999. The effect of photoperiod / scotoperiod on leg weakness in broiler chickens. *Poult. Sci.* 78:336–342.

Sorensen, P., G. Su and S. C. Kestin. 2000. Effects of age and stocking density on leg weakness in broiler chickens. *Poult. Sci.* 79:864-870.

Su, G., P. Sorensen, and S. C. Kestin. 1999. Meal feeding is more effective than early feed restriction at reducing the prevalence of leg weakness in broiler chickens. *Poult. Sci.* 78:949-955.

Su, G., Sorensen, P. and Kestin, S.C. 2000. A note on the effects of perches and litter substrate on leg weakness in broiler chickens. *Poult. Sci.* 79:1259–1263.

Tacken, G.M.L., Goddijn, S.T. and Van Horne, P.L.M. 2003 *Biologisch pluimveevlees in Frankrijk. Rapport 2.03.19.* Landbouw Economisch Instituut, p. 96.

Talaty, P. N., M. N. Katanbaf, and P. Y. Hester. 2010. Bone mineralization in male commercial broilers and its relationship to gait score. *Poult. Sci.* 89:342-348

Tasistro, A.S., Kissel, D.E. and Bush, P.B. 2004. Spatial variability of broiler litter composition in a chicken house. *Journal of Applied Poultry Research*, 13: 29–43.

Thorp B. H., Duff S. R. I. 1988. Effect of unilateral weight-bearing on pelvic limb development in broiler fowls: vascular studies. *Res. Vet. Sci.* 44, 164–174.

Thorp, B. H. 1994. Skeletal disorders in the fowl: A review. *Avian Pathol.* 23:203–236.

Turner, J., Garce´s, L. and Smith, W. 2003. *The Welfare of Broiler Chickens in the European Union.* Compassion in World Farming Trust, p. 32.

Unión Nacional de Avicultores. 2009. *Compendio de indicadores económicos del sector avícola 2009.* Dirección de Estudios Económicos, México, D.F. 106 p.

Van Horne, P.L.M., Van Harn, J.V., Van Middelkoop, J.H. and Tacken, G.M.L. 2003. Perspectieven voor een alternatieve kuikenvleesketen. Rapport 2.03.20. Landbouw Economisch Instituut, p. 66.

Venalainen, E., J. Valaja and T. Jalava. 2006. Effects of dietary metabolisable energy, calcium and phosphorus on bone mineralization, leg weakness and performance of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 47:301-310.

Ventura, B. A., F. Siewerdt, and I. Estevez. 2010. Effects of barrier perches and density on broiler leg health, fear, and performance. *Poult. Sci.* 89:1574-1583.

VERMEIJ, I. (2004) Primaire productiekosten biologische kuikenvlees. Intern rapport 505. Animal Sciences Group, Wageningen UR, p. 19.

Viidik, S. 1969. Tensile strength properties of Achilles tendon systems in trained and untrained rabbits. *Acta Orthop. Scand.*, 40, 261–272.

Weeks, C. A., T. D. Danbury, H. C. Davies, P. Hunt, and S. C. Kestin. 2000. The behaviour of broiler chickens and its modification by lameness. *Appl Anim Behav Sci* 67:111-125.

Weeks C. A., T. G. Knowles, R. G. Gordon, A. E. Kerr, S. T. Peyton, and N. T. Tilbrook. 2002. New method for objectively assessing lameness in broiler chickens. *Vet. Rec.* 151:762-764.

Wideman, R. F., Jr., and Y. K. Kirby. 1996. Electrocardiographic evaluation of broilers during the onset of pulmonary hypertension initiated by unilateral pulmonary artery occlusion. *Poult. Sci.* 75:407-416.

Wideman, R. F. 2001. Pathophysiology of heart/lung disorders: pulmonary hypertension syndrome in broiler chickens. *World's Poult. Sci. J.* 57:289-307.

Wideman R. F., Jr., Hamal K. R., Stark J. M., Blankenship J., Lester H., Mitchell K. N., et al. 2012. A wire-flooring model for inducing lameness in broilers: Evaluation of probiotics as a prophylactic treatment. *Poult. Sci.* 91, 870–883.

Wideman R. F., Pevzner I. 2012. Dexamethasone triggers lameness associated with necrosis of the proximal tibial head and proximal femoral head in broilers. *Poult. Sci.* 91, 2464–2474.

Williams, B., D. Waddington, D. H. Murray, and C. Farquharson. 2003. Bone strength during growth: Influence of growth rate on cortical porosity and mineralization. *Calcif. Tissue Int.* 74:236– 245.

Wise, D. R. 1975. Skeletal abnormalities in table poultry—a review. *Avian Pathol.* 4:1–10.

Woo, S.L.-Y., Ritter, M.A., Amiel, D., Sanders, M., Gomez, M.A., Kuei, S.C., Garfin, S.R., and Akeson, W.H. 1980. The biomechanical and biochemical properties of swine tendons—long-term effects of exercise on the digital extensors. *Connect. Tissue Res.*, 7, 177–183.

Zhao, J. P., J. L. Chen, G. P. Zhao, M. Q. Zheng, R. R. Jiang, and J. Wen. 2009. Live performance, carcass composition, and blood metabolite responses to dietary nutrient density in two distinct broiler breeds of male chickens. *Poult. Sci.* 88:2575-2584.

## Apéndice

Cuadro A. Porcentaje de contenido de cenizas ósea de la tibia de pollos de engorda machos a diferentes edades (d), en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>.

Tratamientos	d 28 <sup>3</sup>	d 35 <sup>3</sup>	d 42 <sup>3</sup>	d 49 <sup>3</sup>
Distancia				
3m	47.5	47.3	48.7	46.7
8m	46.7	47.9	48.9	46.3
P	0.131	0.186	0.669	0.461
EE	0.004	0.004	0.004	0.005
Rampa				
No Rampa	46.8	47.1 <sup>b</sup>	48.6	46.9
Con Rampa	47.4	48.1 <sup>a</sup>	49.0	46.0
P	0.272	0.024	0.442	0.152
EE	0.004	0.004	0.004	0.005
D * R (P)				
	0.045	0.134	0.530	0.094
EE	0.006	0.005	0.005	0.007

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> Se encontraron diferencias significativas por efecto de la interacción distancia x rampa para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 12 repeticiones

<sup>a,b</sup> Medias con diferente superíndice dentro de la misma columna y dentro del mismo efecto principal son estadísticamente diferentes (P < 0.05)

Cuadro B. Rendimiento de los principales cortes de pollo (%) piernas, muslos, alas y pechuga en pollos de engorda machos en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>.

Tratamientos	Piernas <sup>3</sup> (%)	Muslos <sup>3</sup> (%)	Alas <sup>3</sup> (%)	Pechuga <sup>3</sup> (%)
Distancia				
3m	13	18	10	35
8m	13	17	10	35
P	0.765	0.237	0.778	0.748
EE	0.002	0.002	0.002	0.003
Rampa				
No Rampa	13	17	10	35
Con Rampa	13	18	10	35
P	0.926	0.291	0.134	0.542
EE	0.002	0.002	0.002	0.003
D * R (P)	0.566	0.408	0.131	0.067
EE	0.002	0.003	0.002	0.005

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron interacciones para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 25 repeticiones

Cuadro C. Color de la carne en el musculo de la pechuga sin piel en la canal fría (120 minutos postmortem) de pollos de engorda machos en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>.

	Luminosidad <sup>3</sup>	Enrojecimiento <sup>3</sup>	Amarillamiento <sup>3</sup>
Tratamiento	L*	a*	b*
<b>Distancia</b>			
3m	58.2	1.4	-2.3
8m	59.8	1.5	-2.0
P	0.127	0.658	0.476
EE	0.697	0.156	0.318
<b>Rampa</b>			
No Rampa	58.9	1.4	-2.3
Con Rampa	59.1	1.6	-2.1
P	0.846	0.315	0.688
EE	0.697	0.156	0.318
D * R (P)	0.094	0.154	0.316
EE	0.985	0.220	0.450

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron interacciones para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 25 repeticiones

Cuadro D. Porcentaje de pollos de engorda machos, con diferentes grados en la calificación de la habilidad para caminar a diferentes edades (d), en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>.

Tratamientos	G0 <sup>3</sup>	G1 <sup>3</sup>	G2 <sup>3</sup>	G3 <sup>3</sup>	G4 <sup>3</sup>	G5 <sup>3</sup>
<b>Edad en días</b>	<b>35</b>			<b>Valor de P</b>	<b>0.130</b>	
3mNR	50.00	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00
8mNR	66.67	8.33	25.00	0.00	0.00	0.00
3mCR	83.34	8.33	8.33	0.00	0.00	0.00
8mCR	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Edad en días</b>	<b>42</b>			<b>Valor de P</b>	<b>0.056</b>	
3mNR	41.66	16.67	16.67	25.00	0.00	0.00
8mNR	25.00	25.00	33.33	16.67	0.00	0.00
3mCR	75.00	8.33	0.00	16.67	0.00	0.00
8mCR	58.33	41.67	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Edad en días</b>	<b>49</b>			<b>Valor de P</b>	<b>0.388</b>	
3mNR	41.66	16.67	16.67	25.00	0.00	0.00
8mNR	33.33	41.67	16.67	0.00	8.33	0.00
3mCR	50.00	25.00	16.67	8.33	0.00	0.00
8mCR	75.01	8.33	8.33	8.33	0.00	0.00
<b>Total<sup>4</sup></b>				<b>Valor de P</b>	<b>0.051</b>	
3mNR	66.66	11.67	11.67	10.00	0.00	0.00
8mNR	61.66	15.00	16.67	5.00	1.67	0.00
3mCR	81.67	8.33	5.00	5.00	0.00	0.00
8mCR	86.66	10.00	1.67	1.67	0.00	0.00

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron diferencias significativas para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 12 repeticiones

<sup>4</sup> Total es un recuento global desde el día 21 hasta el día 49 de edad.

Cuadro E. Porcentaje de pollos de engorda machos, con diferentes grados de quemaduras en las almohadillas de las patas y los corvejones a diferentes edades (d), en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>.

Tratamientos	G0 <sup>3</sup>	G1 <sup>3</sup>	G2 <sup>3</sup>	G3 <sup>3</sup>
<b>Edad en días 35</b>			<b>Valor de P</b>	<b>0.656</b>
3mNR	33.33	66.67	0.00	0.00
8mNR	41.67	50.00	8.33	0.00
3mCR	33.33	66.67	0.00	0.00
8mCR	50.00	50.00	0.00	0.00
<b>Edad en días 42</b>			<b>Valor de P</b>	<b>0.402</b>
3mNR	33.33	66.67	0.00	0.00
8mNR	66.67	33.33	0.00	0.00
3mCR	41.67	50.00	8.33	0.00
8mCR	58.33	41.67	0.00	0.00
<b>Edad en días 49</b>			<b>Valor de P</b>	<b>0.999</b>
3mNR	33.33	41.67	25.00	0.00
8mNR	41.67	33.33	25.00	0.00
3mCR	41.67	33.33	25.00	0.00
8mCR	41.67	33.33	25.00	0.00
<b>Total<sup>4</sup></b>			<b>Valor de P</b>	<b>0.909</b>
3mNR	60.00	35.00	5.00	0.00
8mNR	60.00	33.33	6.67	0.00
3mCR	55.00	36.67	8.33	0.00
8mCR	66.67	28.33	5.00	0.00

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron diferencias significativas para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 12 repeticiones

<sup>4</sup> Total es un recuento global desde el día 21 hasta el día 49 de edad

Cuadro F. Porcentaje de pollos de engorda machos, con diferentes grados de angulación valgus o varus a diferentes edades (d), en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>.

Tratamientos	G0 <sup>3</sup>	G1 <sup>3</sup>	G2 <sup>3</sup>	G3 <sup>3</sup>
<b>Edad en días</b>	<b>35</b>		<b>Valor de P</b>	<b>0.677</b>
3mNR	75.00	25.00	0.00	0.00
8mNR	66.67	25.00	8.33	0.00
3mCR	75.00	25.00	0.00	0.00
8mCR	58.33	25.00	16.67	0.00
<b>Edad en días</b>	<b>42</b>		<b>Valor de P</b>	<b>0.122</b>
3mNR	33.33	58.34	0.00	8.33
8mNR	25.00	25.00	41.67	8.33
3mCR	33.34	33.33	33.33	0.00
8mCR	8.33	16.67	58.33	16.67
<b>Edad en días</b>	<b>49</b>		<b>Valor de P</b>	<b>0.612</b>
3mNR	25.00	33.33	16.67	25.00
8mNR	16.66	16.67	50.00	16.67
3mCR	41.67	25.00	25.00	8.33
8mCR	16.67	25.00	50.00	8.33
<b>Total<sup>4</sup></b>			<b>Valor de P</b>	<b>0.075</b>
3mNR	60.00	30.00	3.33	6.67
8mNR	55.00	18.33	21.67	5.00
3mCR	63.33	20.00	15.00	1.67
8mCR	46.67	23.33	25.00	5.00

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron diferencias significativas para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 12 repeticiones

<sup>4</sup> Total es un recuento global desde el día 21 hasta el día 49 de edad

Cuadro G. Amplitud de la onda R-S (mv) en pollos de engorda machos en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>.

Tratamientos	d 28 <sup>3</sup>	d 35 <sup>3</sup>	d 42 <sup>3</sup>
Distancia			
3m	0.0142	0.0142	0.0138
8m	0.0145	0.0141	0.0143
P	0.352	0.766	0.081
EE	0.000	0.000	0.000
Rampa			
No Rampa	0.0144	0.0143	0.0136 <sup>b</sup>
Con Rampa	0.0143	0.014	0.0145 <sup>a</sup>
P	0.974	0.309	0.002
EE	0.000	0.000	0.000
D * R (P)	0.074	0.869	0.171
EE	0.015	0.000	0.015

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron interacciones para estos parámetros

3 Cada valor representa el promedio de 12 repeticiones

a,b Medias con diferente superíndice dentro de la misma columna y dentro del mismo efecto principal son estadísticamente diferentes (P < 0.05)

Cuadro H. Porcentaje de hematocrito a diferentes edades (d) en pollos de engorda machos en los cuales los comederos y bebederos estuvieron separados 3 u 8 m y con la presencia o no de una rampa<sup>1</sup> entre los comederos y bebederos (factorial 2 x 2)<sup>2</sup>.

Tratamientos	d 28 <sup>3</sup>	d 35 <sup>3</sup>	d 42 <sup>3</sup>	d 49 <sup>3</sup>
Distancia				
3m	30	31 <sup>a</sup>	31	30
8m	30	30 <sup>b</sup>	30	29
P	0.889	0.020	0.108	0.214
EE	0.006	0.005	0.005	0.005
Rampa				
No Rampa	29	31	30	30
Con Rampa	30	31	31	30
P	0.216	0.541	0.066	0.849
EE	0.006	0.005	0.005	0.005
D * R (P)	0.558	0.326	0.884	0.946
EE	0.008	0.007	0.008	0.007

<sup>1</sup> La rampa fue un prisma triangular (132 cm de ancho, 31 cm de altura y 174 cm de longitud)

<sup>2</sup> No se encontraron interacciones para estos parámetros

<sup>3</sup> Cada valor representa el promedio de 12 repeticiones

a,b Medias con diferente superíndice dentro de la misma columna y dentro del mismo efecto principal son estadísticamente diferentes (P < 0.05)