



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

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

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

**TIPO DE CAMA, DENSIDAD DE POBLACIÓN Y DISTANCIA ENTRE
COMEDEROS Y BEBEDEROS EN LA RESISTENCIA A LA RUPTURA DE LA TIBIA
Y DEL TENDÓN CALCÁNEUS EN POLLOS DE ENGORDA**

ARTEMIO JOVANNY VARGAS GALICIA

**T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

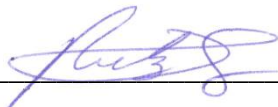
2014

La presente tesis titulada: **Tipo de cama, densidad de población y distancia entre comederos y bebederos en la resistencia a la ruptura de la tibia y del tendón calcáneo en pollos de engorda**, realizada por el alumno **Artemio Jovanny Vargas Galicia**, 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

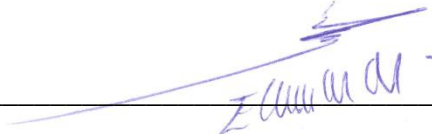
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



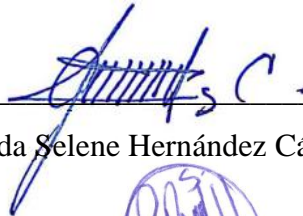
Dr. Arturo Pro Martínez

ASESOR



Dr. Eliseo Sosa Montes

ASESOR



Dra. Aleida Selene Hernández Cázares

ASESOR



Dr. Jaime Gallegos Sánchez

ASESOR



Dr. Lorenzo Reyna Santamaría

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Octubre del 2014

A mis padres:

Juana Galicia Coyote y Abel Vargas Silvestre

Por haberme dado la vida, por sus valiosos esfuerzos, confianza y apoyo incondicional. Gracias por sus sabios consejos, regaños y por guiarme por un buen camino, les agradezco todas sus enseñanzas y cariño que me han dado a lo largo de la vida, por motivarme a seguir adelante y enseñarme a no darme por vencido.

A ustedes les dedico este trabajo con mucho cariño y espero nunca defraudarlos.

A mis hermanos:

Ivan y Ricardo

Porque siempre hemos convivido a lo largo de nuestras vidas, les dedico este trabajo y espero que los motive para seguir adelante y sepan aprovechar todo lo que nuestros padres y la vida nos han dado.

A Analy Mata Estrada, por tu compañía, cariño y apoyo incondicional, gracias por compartir buenos y malos momentos durante estos años.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme el privilegio de vivir, iluminar mi camino y por la familia que me has regalado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado durante mis estudio de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

A los Drs. Arturo Pro Martínez, Ciro A. Ruiz Feria y Eliseo Sosa Montes, por sus valiosas aportaciones, apoyo brindado, paciencia y tiempo dedicado en la realización de este trabajo.

A los Drs. Carlos Miguel Becerril Pérez y Jaime Bautista Ortega, por su colaboración, disponibilidad y paciencia en la revisión de este trabajo.

A los miembros de mi consejo: Dr. Jaime gallegos Sanchez, Dr. Lorenzo Reyna Santamaría, Dr. Juan Manuel Cuca García y Dra. Aleida S. Hernández Cázares, por sus acertadas correcciones y sugerencias para mejorar la redacción del presente trabajo.

A mis compañeros Lic. José G. Cornejo Espinoza y M. C. Leodan T. Rodriguez Ortega, por su apoyo brindado durante la realización de esta investigación.

A todo el Personal Académico y Administrativo del Colegio de Posgraduados.

A todas aquellas personas que contribuyeron en la realización de este trabajo.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
REFERENCIAS.....	5
CAPÍTULO I	
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
<i>Resistencia de la tibia</i>	14
<i>Resistencia del tendón</i>	15
<i>Cenizas, calcio y fósforo de la tibia</i>	15
<i>Habilidad para caminar</i>	15
<i>Latencia a postrarse</i>	15
<i>Quemaduras plantares y del corvejón</i>	16
<i>Angulación valgus/varus</i>	16
<i>Humedad de la cama</i>	16
<i>Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas</i>	16
<i>Análisis estadístico</i>	16
RESULTADOS.....	17
<i>Resistencia de la tibia</i>	17
<i>Resistencia del tendón</i>	18
<i>Cenizas, calcio y fósforo de la tibia</i>	18
<i>Habilidad para caminar</i>	18
<i>Latencia a postrarse</i>	19
<i>Quemaduras plantares y del corvejón</i>	20
<i>Angulación valgus/varus</i>	21
<i>Humedad de la cama</i>	22

<i>Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas</i>	22
DISCUSIÓN.....	24
<i>Resistencia de la tibia</i>	24
<i>Resistencia del tendón</i>	25
<i>Cenizas, calcio y fósforo de la tibia</i>	26
<i>Habilidad para caminar</i>	26
<i>Latencia a postrarse</i>	27
<i>Quemaduras plantares y del corvejón</i>	27
<i>Angulación valgus/varus</i>	28
<i>Humedad de la cama</i>	29
<i>Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas</i>	29
REFERENCIAS.....	31
CAPÍTULO II	
RESUMEN.....	36
ABSTRACT.....	37
INTRODUCCIÓN.....	38
MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
<i>Resistencia de la tibia</i>	39
<i>Resistencia del tendón</i>	39
<i>Habilidad para caminar</i>	40
<i>Latencia a postrarse</i>	40
<i>Quemaduras plantares y del corvejón</i>	40
<i>Angulación valgus/varus</i>	41
<i>Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas</i>	41
<i>Análisis estadístico</i>	41
RESULTADOS.....	41
<i>Resistencia de la tibia</i>	41
<i>Resistencia del tendón</i>	42
<i>Habilidad para caminar</i>	43
<i>Latencia a postrarse</i>	43
<i>Quemaduras plantares y del corvejón</i>	44

<i>Angulación valgus/varus</i>	45
<i>Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas</i>	45
DISCUSIÓN.....	47
<i>Resistencia de la tibia</i>	47
<i>Resistencia del tendón</i>	48
<i>Habilidad para caminar</i>	48
<i>Latencia a postrarse</i>	49
<i>Quemaduras plantares y del corvejón</i>	49
<i>Angulación valgus/varus</i>	50
<i>Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas</i>	51
CONCLUSIÓN GENERAL.....	52
AGRADECIMIENTOS.....	52
REFERENCIAS.....	52

LISTA DE CUADROS

CAPITULO I

Cuadro 1. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados en la calificación de la habilidad para caminar a diferentes edades.....	19
Cuadro 2. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados de quemaduras plantares y del corvejón, criados sobre tezontle o viruta de madera a una densidad de 13 o 18 pollos/m ² a diferentes edades.....	20
Cuadro 3. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados de angulación valgus/varus, criados sobre tezontle o viruta de madera a una densidad de 13 o 18 pollos/m ² a diferentes edades.....	21
Cuadro 4. Porcentaje de humedad en las camas de pollos de engorda criados a una densidad de 13 o 18 pollos/m ² a diferentes edades.....	22
Cuadro 5. Comportamiento productivo (g) de pollos de engorda criados a una densidad de 13 o 18 pollos/m ² durante un periodo de 6 semanas.....	23
Cuadro 6. Pesos al sacrificio, de la canal y de piernas (g) al d 45 de pollos de engorda criados a una densidad de 13 o 18 pollos/m ²	24

CAPITULO II

Cuadro 1. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados en la calificación de la habilidad para caminar a cuatro diferentes edades.....	43
Cuadro 2. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados de quemaduras plantares y corvejones criados en distancias de 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos a diferentes edades.....	44
Cuadro 3. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados de angulación valgus/varus, criados en distancias de 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos a diferentes edades.....	45
Cuadro 4. Comportamiento productivo (g) de pollos de engorda en distancias de 3 o 9 m separación entre comederos y bebederos durante un periodo de 7 semanas.....	46
Cuadro 5. Pesos al sacrificio, de la canal y de piernas (g) al d 48 de pollos de engorda criados en distancias de 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos.....	46

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

- Figura 1. Resistencia de la tibia de pollos de engorda criados a una densidad de 13 o 18 pollos/m². ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 48 observaciones..... 17
- Figura 2. Resistencia del tendón calcáneo de pollos de engorda criados sobre tezontle o viruta de madera. ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 48 observaciones..... 18
- Figura 3. Latencia a postrarse de pollos de engorda a tres diferentes edades. ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 96 observaciones..... 19

CAPITULO II

- Figura 1. Resistencia de la tibia de pollos de engorda al d 48, criados con 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos. ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 40 observaciones..... 42
- Figura 2. Resistencia del tendón calcáneo al d 48 de pollos de engorda criados con 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos. ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 40 observaciones..... 42
- Figura 3. Latencia a postrarse de pollos de engorda a cuatro diferentes edades, criados en distancias de 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos. ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 64 observaciones..... 44

INTRODUCCIÓN GENERAL

Uno de los problemas del bienestar en la producción de pollos de engorda es la incidencia de trastornos esqueléticos (Mench, 2004). Los problemas de patas incluyen discondroplasia tibial, deformaciones varus/valgus, ruptura de dedos, necrosis de la cabeza femoral (Rodríguez *et al.*, 2005) y ruptura del tendón gastrocnemius (Crespo y Shivaprasad, 2011), los cuales conducen a problemas de locomoción en las aves (Kapell, 2013). El origen de los problemas esqueléticos aún no se ha entendido completamente, ya que varía de una parvada a otra (Mench, 2004). Factores como la densidad de población (Sorensen *et al.*, 2000) y el material de cama influyen sobre la incidencia de problemas de patas en los pollos de engorda (Almeida-Paz *et al.*, 2013), y se cree que están relacionados con el potencial de crecimiento (Kestin *et al.*, 1999). Las aves criadas bajo altas densidades de población presentan elevada incidencia de lesiones plantares, quemaduras en el corvejón y disminución de la habilidad para caminar (Sorensen *et al.*, 2000) afectándose la calidad de sus huesos (Škrbić *et al.*, 2009). Además, el incremento de la densidad reduce el consumo de alimento y la ganancia de peso de los pollos de engorda (Abudabos *et al.*, 2013); sin embargo, permite mayor eficiencia en la utilización de las instalaciones y mayor producción de porciones comestibles/m² (Valdivié y Dieppa, 2002). Por otro lado, el material de cama desempeña un papel importante en los problemas de patas debido a que está relacionado con el contenido de humedad (Bessei, 2006) y el nivel de actividad de las aves (Arnould *et al.*, 2004; Shields *et al.*, 2005). Al respecto, Bessei (2006) reportó que la humedad de la cama aumenta con la densidad y edad de las aves, lo que origina mayor grado de lesiones en los cojinetes plantares (Dozier *et al.*, 2006) debido a que los pollos permanecen postrados en el mismo lugar. Asimismo, la falta de actividad locomotora conduce a problemas de patas y deterioro de la capacidad para caminar (Nääs *et al.*, 2012).

La hipótesis del presente trabajo fue que el uso de tezontle como material de cama, una densidad de 13 aves/m² y el ejercicio moderado, reducirán las lesiones relacionadas con la integridad de la tibia y del tendón calcáneo y mejorarán el bienestar sin afectar el comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas en pollos de engorda. Por tanto, el objetivo fue evaluar el efecto del material de cama, densidad y distancia entre comederos y bebederos en la resistencia a la ruptura de la tibia y del tendón calcáneo, indicadores de bienestar (habilidad para caminar, latencia a postrarse, quemaduras plantares y del corvejón y angulación valgus/varus) comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas en pollos de engorda.

REVISIÓN DE LITERATURA

La producción de pollo en México ha mantenido una tendencia de crecimiento, situación influenciada por la demanda de carnes blancas (de bajo contenido graso) y bajo costo, lo cual resulta competitivo respecto a otros cárnicos (SAGARPA, 2009). Actualmente, el valle de México aporta el 5% de la producción de pollos de engorda de los cerca de 3 millones de toneladas producidas por año en el país (UNA, 2014). El bienestar de las aves se ve afectado por una combinación de factores como la calidad de la cama, densidad, régimen de iluminación, alimentación, actividad locomotora y genotipo (Meluzzi y Sirri, 2009). Los pollos de engorda han sido objeto de una intensa selección genética para incrementar la ganancia de peso y reducir la conversión alimenticia durante las últimas cuatro décadas (Weeks *et al.*, 2000), factor que ha disminuido su nivel de actividad física e incrementado el tiempo de postración, provocando la aparición de trastornos en los huesos largos y anomalías en la habilidad para caminar (Meluzzi y Sirri, 2009).

En la industria avícola, el incremento de la densidad es una práctica de manejo utilizada para reducir los costos de producción (El-Deek y Al-Harthi, 2004) y permitir mayor eficiencia en la

utilización de las instalaciones para la producción de mayor cantidad de kg de carne/m² (Valdivié y Dieppa, 2002). La calidad de la cama es de gran importancia para el bienestar de las aves, debido a que permanecen en contacto con ella durante todo el periodo de engorda (El-Deek y Al-Harthi, 2004). Por tanto, si las condiciones de la cama no son óptimas existe riesgo de que las aves desarrollen quemaduras en los cojinetes y corvejones (Berg, 2004), ocasionando disminución del crecimiento y pobre capacidad para caminar (Meluzzi y Sirri, 2009). Talaty *et al.* (2010) mencionaron que el tamaño corporal y la mayor producción de músculo en la pechuga de los pollos de engorda ejercen efectos negativos sobre el sistema esquelético, resultando una disminución de la habilidad para caminar. Julian (1998), reportó que la ruptura del tendón gastrocnemius ocurre con mayor frecuencia en pollos adultos, gallos y gallinas reproductoras pesadas.

Por otro lado, la actividad física es importante para la formación de los huesos de animales en crecimiento (Bessei, 2006) y está relacionada con la densidad de población debido a que de esto depende el espacio para desplazarse y del nivel de actividad en los pollos de engorda (Bradshaw *et al.*, 2002). Numerosos estudios sobre el mejoramiento del bienestar de las aves mediante la modificación de las estrategias de manejo se han realizado, pero aún no se ha entendido completamente el origen de estos problemas. El nivel de actividad física puede influir sobre los cambios bioquímicos y biomecánicos (Moussa *et al.*, 2008) e incrementar la síntesis de colágeno del tendón gastrocnemius (Kjaer *et al.*, 2006). Benevides *et al.* (2004) demostraron que el tendón flexor digital superficial de pollos activos presentó altas cantidades de colágeno comparado con pollos criados en jaulas.

La cantidad de cenizas presente en el hueso es proporcional al grado de resistencia (Bonser y Casinos, 2003); asimismo, el calcio y el fósforo intervienen en la fortaleza y salud de los huesos (Rath *et al.*, 2000). Brickett *et al.* (2007) reportaron que un alto contenido de cenizas en los huesos

podría deberse a un incremento en la actividad física de las aves, y que los machos poseen menor contenido de cenizas que las hembras. Contrariamente, Ruiz-Feria *et al.* (2014) mencionaron que el contenido de cenizas del hueso no es afectado por la actividad física (distancia y presencia de rampas entre comederos y bebederos).

Lewis *et al.* (2009) documentaron que la resistencia de la tibia se vio afectada por el fotoperiodo, peso corporal y genotipo, estos autores encontraron que los pollos Ross presentaron tibias más resistentes en comparación con el genotipo Cobb; así, la resistencia de los huesos indica una selección con más éxito para la resistencia ósea en los pollos Ross. Škrbić *et al.* (2009) reportaron que el genotipo es uno de los factores que incide en la fortaleza de la tibia, en base a las diferencias establecidas en la fuerza de ruptura (Cobb= 39.41 kg vs Arbor Acres= 36.81 kg). Ruiz-Feria *et al.* (2014) determinaron que la resistencia de la tibia no se vio afectada por la distancia entre comederos y bebederos a los 21, 45 y 56 d; sin embargo, observaron que los machos presentaron huesos más resistentes que las hembras. Shim *et al.* (2012) publicaron que la resistencia de tibias en pollos de rápido crecimiento fue superior a la de aquellos de lento crecimiento, asociada negativamente con la ganancia de peso. Además, se tienen reportes de que la incidencia de valgus es mayor en los machos que en las hembras (Leterrier y Nys, 1992).

El incremento del peso corporal disminuye la capacidad de locomoción, en consecuencia, las aves mayores a 35 d de edad y muy pesadas presentan dificultad para caminar (Nääs *et al.*, 2009). Al respecto, Talaty *et al.* (2010) concluyeron que la mineralización ósea posee poca influencia sobre la capacidad de caminar de las aves. Kestin *et al.* (1999, 2001) informaron que la ganancia de peso es un factor determinante de la cojera de los pollos de engorda, por lo que las aves con puntuaciones de 4 ó 5 son de menor peso debido a que no pueden consumir agua y alimento. Buijs *et al.* (2009) reportaron que al incrementar la densidad de población, el tiempo de postración mostró una

disminución de la fortaleza de las patas, por lo que los métodos de crianza y factores ambientales pueden afectar el bienestar de las aves.

Buijs *et al.* (2009) encontraron que las quemaduras plantares y del corvejón se agravaron al incrementar la densidad. En este sentido, Bessei (2006) reportó que los efectos negativos de la densidad de población sobre las lesiones plantares resultan porque las aves permanecen mucho tiempo postrados sobre las camas húmedas. Kjaer *et al.* (2006) observaron las primeras lesiones plantares durante la segunda semana en el genotipo Ross 308; y reportaron una alta incidencia de quemaduras en el corvejón en las aves con mayor peso corporal, que podría deberse a que las muy pesadas tienden a postrarse más tiempo sobre los corvejones en comparación con las de menor peso. Dawkins *et al.* (2004) reportaron que la humedad de la cama y el contenido de amoníaco están relacionados con la salud de las aves, en consecuencia, se presentaron más lesiones del corvejón con la cama húmeda, además, algunos aspectos de la salud de las patas se ven comprometidos por arriba de una densidad de 42 kg. Kjaer *et al.* (2006) encontraron que las quemaduras plantares tienen baja correlación genética con el peso corporal, por lo que es posible reducir la susceptibilidad a estos daños mediante la selección genética, sin efectos negativos sobre la ganancia de peso.

REFERENCIAS

- Abudabos, A. M., Samara, E. M., Hussein, E. O. S., Al-Ghadi, M. Q. and Al-Atiyat, R. M. 2013. Impacts of stocking density on the performance and welfare of broiler chickens. *Ital. J. Anim. Sci.* 12: 66-71.
- Almeida-Paz, I. C. L., García, R. G., Bernardi, R., Seno, L. O., Nääs, I. A. and Caldara, F. R. 2013. Locomotor problems in broilers reared on new and re-used litter. *Ital. J. Anim. Sci.* 12: 275-279.

- Arnould, C., Bizeray, D., Faure, J. M. and Leterrier, C. 2004. Effects of the addition of sand and string to pens on use of space, activity, tarsal angulations and bone composition of broiler chickens. *Anim.Welf.* 13: 87-94.
- Benevides, G. P., Pimentel, E. R., Toyama, M. H., Novello, J. C., Marangoni, S. and Gomes, L. 2004. Biochemical and biomechanical analysis of tendons of caged and penned chickens. *Connect. Tissue Res.* 45: 206-215.
- Berg, C. C. 2004. Pododermatitis and hock burn in broiler chickens. *In: Weeks, C. A. and Butterworth, A. (Eds.) Measuring and Auditing Broiler Welfare.* CAB International. Wallingford, UK. pp: 37-49.
- Bessei, W. 2006. Welfare of broilers: a review. *World's Poult. Sci. J.* 62: 455-466.
- Bonser, R. H. C. and Casinos, A. 2003. Regional variation in cortical bone properties from broiler fowl-A first look. *Br. Poult. Sci.* 44: 350-354.
- Bradshaw, R. H., Kirkden, R. D. and Broom, D. M. 2002. A review of the aetiology and pathology of leg weakness in broilers in relation to welfare. *Avian and Poult. Biol. Rev.* 13 (2): 45-103.
- Brickett, K. E., Dahiya, J. P., Classen, H. L., Annett, C. B. and Gomis, S. 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.
- Buijs, S., Keeling, L., Rettenbacher, S., Van Poucke, E. and Tuytens, F. A. M. 2009. Stocking density effects on broiler welfare: Identifying sensitive ranges for different indicators. *Poult. Sci.* 88: 1536-1543.
- Crespo, R. and Shivaprasad, H. L. 2011. Rupture of gastrocnemius tendon in broiler breeder hens. *Avian Dis.* 55 (3): 495-498.
- Dawkins, M. S., Donnelly, A. and Jones, T. A. 2004. Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density. *Nature.* 427: 342-344.

- Dozier, W. A., Thaxton J. P., Purswell, J. L., Olanrewaju, H. A., Branton, S. L. and Roush, W. B. 2006. Stocking density effects on male broilers grown to 1.8 kilograms of body weight. *Poult. Sci.* 85: 344-351.
- El-Deek, A. A. and Al-Harhi, M. A. 2004. Responses of modern broiler chicks to stocking density, green tea, commercial multi enzymes and their interactions on productive performance, carcass characteristics, liver composition and plasma constituents. *Inter. J. Poult. Sci.* 3 (10): 635-645.
- Julian, R. J. 1998. Rapid growth problems: ascites and skeletal deformities in broilers. *Poult. Sci.* 77: 1773-1780.
- Kapell, D. 2013. Selection for improved leg health in purebred broiler lines. *Lohmann Information.* 48: 23-33.
- Kestin, S. C., Su, G. and Sorensen, P. 1999. Different commercial broiler crosses have different susceptibilities to leg weakness. *Poult. Sci.* 78: 1085-1090.
- Kestin, S. C., Gordon, S., Su, G. and Sorensen, P. 2001. Relationships in broiler chickens between lameness, live weight, growth rate and age. *Vet. Rec.* 148: 195-197.
- Kjaer, M., Magnusson, P., Krogsgaard, M., Møssler, J. B., Olesen, J., Heinemeier, K., Hansen, M., Haraldsson, B., Koskinen, S., Esmarck, B. and Langberg, H. 2006. Extracellular matrix adaptation of tendon and skeletal muscle to exercise. *J. Anat.* 208: 445-450.
- Leterrier, C. and Nys, Y. 1992. Clinical and anatomical differences in varus and valgus deformities of chick limbs suggest different aetio-pathogenesis. *Avian Pathol.* 21: 429-442.
- Lewis, P. D., Danisman, R. and Gous, R. M. 2009. Photoperiodic responses of broilers. III. Tibial breaking strength and ash content. *Br. Poult. Sci.* 50 (6): 673-679.
- Meluzzi, A. and Sirri, F. 2009. Welfare of broiler chickens. *Ital. J. Anim. Sci.* 8 (Suppl. 1): 161-173.
- Mench, J. 2004. Lameness. *In: Weeks, C. A. and Butterworth, A. (Eds) Measuring and Auditing Broiler Welfare.* CAB International. Wallingford, UK. pp: 3-17.

- Moussa, M., Swider, P., Babilé, R., Fernandez, X. and Rémignon, H. 2008. Effects of physical activities on biochemical and biomechanical properties of tendons in two commercial types of chickens. *Connect. Tissue Res.* 49: 76-84.
- Nääs, I. de A., Almeida-Paz, I. C. L., Baracho, M. S., Menezes, A. G., Bueno, L. G. F., Almeida, I. C. L. and Moura, J. D. 2009. Impact of lameness on broiler well-being. *J. Appl. Poult. Res.* 18:432–439.
- Nääs, I. de A., Baracho, M. dos S., Bueno, L. G. F., de Moura, D. J., Vercelino, R. do A. and Salgado, D. D. 2012. Use of vitamin D to reduce lameness in broilers reared in harsh environments. *Braz. J. Poult. Sci.* 14 (3): 165-172.
- Rath, N. C., Huff, G. R., Huff, W. E. and Balog, J. M. 2000. Factors regulating bone maturity and strength in poultry. *Poult. Sci.* 79: 1024-1032.
- Rodríguez, B., Valdiviá, M. y Dieppa, O. 2005. Daños corporales asociados a altas densidades de pollos en jaulas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 39: 63-68.
- Ruiz-Feria, C. A., Arroyo-Villegas, J. J., Pro-Martinez, A., Bautista-Ortega, J., Cortes-Cuevas, A., Narciso-Gaytan, C., Hernández-Cazares, A. S. and Gallegos-Sanchez, J. 2014. Effects of distance and barriers between resources on bone and tendon strength and productive performance of broiler chickens. *Poult. Sci.* 93:1-10.
- SAGARPA. 2009. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de pollo en México 2009. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%20de%20situacion%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/28/sitpollo09.pdf>. (Agosto, 2014).
- Shields, S. J., Garner, I. P. and Mench, J. A. 2005. Effect of sand and wood-shavings bedding on the behavior of broiler chickens. *Poult. Sci.* 84: 1816-1824.
- Shim, M. Y., Karnuah, A. B., Mitchell, A. D., Anthony, N. B., Pesti, G. M. and Aggrey, S. E. 2012. The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content, and bone ash in broilers. *Poult. Sci.* 91: 1790-1795.

- Škrbić, Z., Pavlovski, Z., Vitorović, D., Lukić, M. and Petrićević, V. 2009. The effects of stocking density and light program on tibia quality of broilers of different genotype. *Archiv. Zootechnica*. 12 (3): 56-63.
- Sorensen, P., Su, G. and Kestin, S. C. 2000. Effects of age and stocking density on leg weakness in broiler chickens. *Poult. Sci.* 79: 864-870.
- Talaty, P. N., Katanbaf, M. N. and Hester, P. Y. 2010. Bone mineralization in male commercial broilers and its relationship to gait score. *Poult. Sci.* 89: 342-348.
- UNA. Unión Nacional de Avicultores. 2014. Indicadores económicos. <http://una.org.mx/index.php/component/content/article/2-uncategorised/19-indicadores-economicos> (Agosto, 2014).
- Valdiviá, M. y Dieppa, O. 2002. Densidad de pollos de ceba. Porciones comestibles/m². *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 36 (2): 137-140.
- Weeks, C. A., Danbury, T. D., Davies, H. C., Hunt, P. and Kestin, S. C. 2000. The behaviour of broiler chickens and its modification by lameness. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 67: 111-125.

CAPÍTULO I.

RESUMEN

MATERIAL DE CAMA Y DENSIDAD DE POBLACIÓN EN LA RESISTENCIA A LA RUPTURA DE LA TIBIA Y DEL TENDÓN CALCÁNEUS EN POLLOS DE ENGORDA

Artemio Jovanny Vargas Galicia, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del material de cama y densidad población en la resistencia a la ruptura de la tibia y del tendón calcáneo, variables de bienestar, comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas en pollos de engorda. Se utilizaron 744 pollos machos de la línea 'Ross 308' de un día de edad, que fueron criados sobre roca volcánica (tezontle, TEZ) o viruta de madera (VIR), con una densidad de 13 (D13) o 18 pollos/m² (D18). A los 45 d, la tibia (RTi) derecha y tendones (RTe) fueron recolectados y sometidos a pruebas de resistencia (N, 24 aves/tratamiento). Para evaluar la habilidad para caminar (Hc), latencia a postrarse (Lp), quemaduras plantares y del corvejón (Qpc) y angulación valgus/varus (AngV) se seleccionaron al azar 24 pollos/tratamiento a los 25, 32 y 39 d. El comportamiento productivo se registró semanalmente y los pesos al sacrificio, de la canal y de piernas se evaluaron al d 45. Las aves del grupo D13 mostraron mayor RTi que las aves del grupo D18. Los pollos criados sobre VIR mostraron mayor RTe que los pollos criados sobre TEZ. Las aves del grupo TEZ-D13 tuvieron mejor Hc y mostraron menores lesiones en Qpc en comparación con los demás tratamientos. La edad afectó negativamente la Lp. A los 25 y 39 d las aves del grupo VIR-D13 mostraron menor angulación en comparación con los demás tratamientos; sin embargo, a los 32 d las aves criadas en TEZ-D13 mostraron menor AngV que las aves en los demás grupos. Se observó mayor consumo de alimento, ganancia de peso, peso al sacrificio y peso de la canal en las aves del grupo D13 en comparación con las aves del grupo D18. No se encontraron diferencias entre

tratamientos para el peso de piernas. El uso del tezontle y 13 pollos/m² mejoraron la habilidad para caminar y disminuyeron las quemaduras plantares y del corvejón sin afectar negativamente el comportamiento productivo de los pollos de engorda.

Palabras clave: tezontle, tibia, tendón, densidad de población, comportamiento productivo.

ABSTRACT

LITTER MATERIAL AND STOCKING DENSITY ON TIBIA AND CALCANEUS TENDON BREAKING STRENGTH IN BROILERS

Artemio Jovanny Vargas Galicia, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

The objective of this study was to evaluate the effect of litter material and stocking density, on tibia and tendon breaking strength, welfare variables, productive performance, slaughter, carcass and legs weight in broilers. Male chicks (n= 744, “Ross 308” strain) were raised on either volcanic rock (tezontle, TEZ) or wood shavings (WS) litter, with a stocking density of either 13 (LDe) or 18 birds/m² (HDe). Right tibias and calcaneus tendons were collected at d 45 (24 birds/treatment) and subjected to breaking strength tests (N). Twenty-four birds/treatment were randomly selected to assess walking ability (WA), latency to lie (LTL), foot pad lesions (FPL) and valgus/varus angulation (VAng) at d 25, 32 and 39. The productive performance was recorded weekly and slaughter, carcass and legs weight were assessed at d 45. The tibia breaking strength was higher in birds housed at LDe than in those housed at HDe. Chickens housed on WS litter showed higher tendon breaking strength than birds raised on TEZ litter. Birds in TEZ-LDe group improved WA score and showed lower values for FPL. Age negatively affected LTL. The WS-LDe group showed less angulation score at d 25 and 39 than birds in the other groups, however, at d 32 the birds in the TEZ-LDe group showed less VAng than other groups. Feed intake, body weight gain, slaughter weight and carcass weight was higher in birds housed at LDe than in those housed at HDe. No difference among treatments was observed for legs weight. Tezontle and LDe improved walking ability and decreased foot pad lesions without compromising productive performance in broilers.

Key Words: tezontle, tibia, tendon, stocking density, productive performance

INTRODUCCIÓN

La industria avícola trata de maximizar los kg de carne producido por metro cuadrado, sin embargo, el incremento de la densidad reduce el consumo de alimento, ganancia de peso (Abudabos *et al.*, 2013) y el bienestar de las aves (Meluzzi y Sirri, 2009). Las altas densidades de población afectan la locomoción de las aves aumentando la severidad de los problemas esqueléticos y disminuyendo progresivamente la capacidad para caminar (Mench, 2004); además, se afecta negativamente la calidad de las tibias (Škrbić *et al.*, 2009) y de los tendones (Benevides *et al.*, 2004). La posible causa de estos problemas es la falta de actividad física en las aves como resultado del poco espacio en condiciones de mayor densidad y la predisposición genética para alcanzar elevados pesos corporales que están en desequilibrio con el desarrollo del aparato locomotor (Škrbić *et al.*, 2009a). Al respecto, Sorensen *et al.* (2000) reportaron que las bajas densidades reducen la prevalencia de la debilidad en las piernas, además, la densidad y la edad de las aves están asociadas con la incidencia de quemaduras plantares (Dawkins *et al.*, 2004; Bessei, 2006). Por otra parte, el alto contenido de humedad de la cama, agrava la incidencia de quemaduras plantares y del corvejón (Meluzzi *et al.*, 2008; Almeida-Paz *et al.*, 2010) ocasionando disminución de la habilidad para caminar (Su *et al.*, 2000). El material de cama utilizado en la industria avícola varía entre regiones debido al costo y disponibilidad (Berg, 2004). El tezontle es uno de los materiales ampliamente utilizados en la producción de alimentos vegetales en México (Ponce-Lira *et al.*, 2013) y se ha demostrado que es un material que retiene bajo contenido de humedad en comparación con otros materiales como cama para pollos de engorda (Murillo *et al.*, 1967). La hipótesis del presente estudio fue que mediante el uso del tezontle (roca volcánica) como material de cama y una densidad de 13 aves/m², reducirán las lesiones relacionadas con la integridad de la tibia y del tendón calcáneo y mejorará el bienestar sin afectar el comportamiento productivo y

pesos al sacrificio, de la canal y de piernas en los pollos de engorda. Si el tezontle retiene poca humedad, reducirá los daños asociados con los problemas de patas. Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del material de cama y densidad en la resistencia de la tibia y del tendón calcáneo, indicadores de bienestar (habilidad para caminar, latencia a postrarse, quemaduras plantares y del corvejón y angulación valgus/varus) comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas en pollos de engorda.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las instalaciones avícolas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México. Se utilizaron 744 pollos machos de la línea 'Ross 308' de un día de edad. Los pollos fueron criados en corrales de 3 m² sobre roca volcánica (tezontle, TEZ) o viruta de madera (VIR), con una densidad de 13 (D13) o 18 pollos/m² (D18) con 4 repeticiones por tratamiento. El experimento duró 45 d. La alimentación consistió de tres periodos, iniciación (0-21 d), crecimiento (22-35 d) y finalización (36-45 d). Se utilizó un régimen de iluminación 23 h luz: 1 h oscuridad durante las primeras dos semanas. El agua se suministró al libre acceso y el alimento se restringió 8 h diarias a partir de los 15 d con la finalidad de prevenir el síndrome ascítico. Los materiales de cama empleados se proporcionaron en cantidades de 2400 g de TEZ y 155 g de VIR por ave. El tamaño de partícula del TEZ varió de 2 a 5 mm y el de VIR fue de 2 cm. El grosor de ambos tipos de cama fue de 3 cm aproximadamente.

Resistencia de la tibia (RTi)

Para la evaluación de la RTi se seleccionaron aleatoriamente 24 pollos/tratamiento y se sacrificaron con un cuchillo aturdidor (modelo VS200, Midwest Processing Systems, Minneapolis, MN) a los 45 d. La tibia derecha fue extraída y sometida a la prueba de resistencia a la ruptura

utilizando un sensor Force Plate (Vernier Software & Technology, Beaverton, USA). La fuerza de ruptura se midió en Newtons (N).

Resistencia del tendón (R_{Te})

Para medir la resistencia del tendón (d 45), estos fueron removidos de las piernas izquierdas, los extremos se sumergieron en nitrógeno líquido y se fijaron con papel lija en los soportes del sensor Force Plate para ser tensados y registrar la fuerza de ruptura (N, 24 pollos/tratamiento).

Cenizas, calcio y fósforo de la tibia

Para determinar el contenido de cenizas, calcio y fósforo en el hueso se utilizó la metodología descrita por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1975).

Para la evaluación de la habilidad para caminar, latencia a postrarse, quemaduras plantares y del corvejón y angulación valgus/varus se seleccionaron de manera aleatoria 24 aves/tratamiento a los 25, 32 y 39 d de edad.

Habilidad para caminar (H_c)

Esta variable se registró en una escala de 0 a 5. La medición se realizó simultáneamente por dos evaluadores que calificaron a cada ave. Se utilizó la escala desarrollada por Kestin *et al.* (1992) y modificada por Garner *et al.* (2002). 0, indica un pollo diestro y ágil; 1, pollo con leve defecto al caminar; 2, ave con problemas evidentes para caminar; 3, anormalidad obvia que afecta la habilidad del ave para moverse, particularmente con reducida aceleración y velocidad de movimiento; 4, pollo con severo defecto al caminar, solamente caminan cuando se estimula o cuando tienen una fuerte motivación y 5, ave que no puede caminar en lo absoluto.

Latencia a postrarse (L_p)

Para evaluar la L_p se utilizó la prueba descrita por Berg y Sanotra (2003). Esta prueba se basa en que el contacto corporal con el agua es una experiencia aversiva para los pollos de engorda. Los

pollos se colocaron dentro de contenedores de plástico con agua a 3 cm de altura y temperatura de 32 °C. Se procedió a tomar el tiempo transcurrido en segundos hasta el momento en que el ave se postró por completo. La prueba se suspendió cuando el ave permaneció de pie después de 600 s.

Quemaduras plantares y del corvejón (Qpc)

Las almohadillas plantares y la articulación tibio-tarsal de cada ave se midió de acuerdo con la metodología descrita por Su *et al.* (1999). Ambas piernas se evaluaron en una escala de 0 a 3. 0, pollo sin daños; 1, ave con daño menor; 2, presencia de un daño evidente y 3, pollo con quemaduras extendidas e inflamación.

Angulación valgus/varus (AngV)

La escala de evaluación para esta variable fue de 0 a 3. Donde 0, indica no angulación; 1, pollo con poca angulación; 2, aves con angulación evidente y 3, angulación severa según método empleado por Moller *et al.* (1995).

Humedad de la cama

Para la determinación del contenido de humedad de la cama se utilizó la metodología descrita por la AOAC (1975). Se obtuvieron seis muestras de manera aleatoria de las distintas camas utilizadas, situadas en diferentes puntos de cada corral a los 25, 32 y 39 d.

Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de canal y de piernas

Las variables consumo de alimento (g), ganancia de peso (g) y conversión alimenticia (g/g) se registraron semanalmente hasta los 42 d. Para el peso al sacrificio, peso de la canal y el peso de piernas (g) se seleccionaron de manera aleatoria 24 aves/tratamiento a los 45 d.

Análisis Estadístico

Las variables RTi, RTe, cenizas, Ca, P, peso al sacrificio, peso de canal y peso de piernas se analizaron con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 (material

de cama, densidad) mediante el procedimiento MIXED. Las características Hc, Qpc y AngV se analizaron con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 3 (material de cama, densidad, edad del ave) mediante el procedimiento GLIMMIX. La variable Lp se analizó bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 x 3 (material de cama, densidad, edad del ave) mediante el procedimiento MIXED. Para el análisis de las variables mencionadas el pollo se consideró la unidad experimental. El contenido de humedad de la cama, consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia se analizaron con mediciones repetidas mediante el procedimiento MIXED (SAS Institute Inc., 2011); los pollos en corral se consideró como la unidad experimental. Los resultados se presentan como la media \pm EE (error estándar). Se obtuvo la correlación entre la Lp y Hc (correlación de Pearson).

RESULTADOS

Resistencia de la tibia

No se observó efecto del tipo de cama en la RTi. Las aves criadas sobre D13 mostraron mayor RTi que las aves criadas sobre D18 (Figura 1).

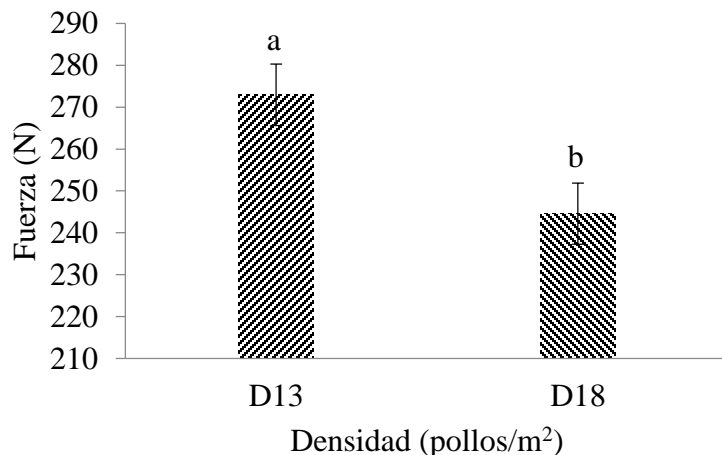


Figura 1. Resistencia de la tibia de pollos de engorda criados a una densidad de 13 o 18 pollos/m². ^{a, b}Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 48 observaciones.

Resistencia del tendón

La densidad de población no afectó la RTe. Los pollos alojados en VIR mostraron mayor RTe que las aves criadas sobre TEZ ($P \leq 0.05$; Figura 2).

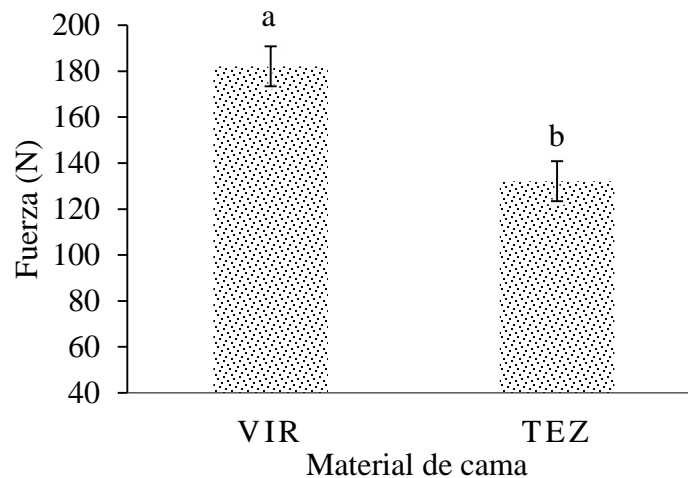


Figura 2. Resistencia del tendón calcáneo de pollos de engorda criados sobre tezontle o viruta de madera. ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 48 observaciones.

Cenizas, calcio y fósforo de la tibia

No se encontraron diferencias para el contenido de cenizas, Ca y P de la tibia entre tratamientos (Datos no mostrados).

Habilidad para caminar

Para esta variable no se encontraron diferencias por efecto del tipo de cama o densidad; sin embargo, los resultados de la interacción cama*densidad tuvieron una tendencia a ser significativos ($P=0.066$). El grupo de aves criados en TEZ-D13 mostraron mejor Hc en comparación con los demás tratamientos. Además, se observó que la habilidad para caminar se deteriora con la edad de las aves. No se observaron pollos con puntuación de 4 y 5 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados en la calificación de la habilidad para caminar a diferentes edades.

Edad (d)	Puntuación de la habilidad para caminar, %					
	0	1	2	3	4	5
25	77.08	22.92	0.00	0.00	0.00	0.00
32	23.29	36.46	30.21	1.04	0.00	0.00
39	3.13	21.88	57.29	17.71	0.00	0.00
Densidad	Tezontle					
D13	51.38	13.88	29.16	5.55	0.00	0.00
D18	25.00	31.94	33.33	9.72	0.00	0.00
	Viruta					
D13	46.16	34.72	27.77	4.16	0.00	0.00
D18	40.27	27.77	26.38	5.55	0.00	0.00
Fuente de variación	P					
Cama	0.5803					
Densidad	0.1599					
Edad	<0.0001					
Cama*Densidad	0.0663					

Se evaluaron 24 aves/tratamiento a los 25, 32 y 39 d.

Latencia a postrarse

El tipo de cama y densidad no influyeron sobre la Lp. La edad de las aves afectó negativamente ($P \leq 0.05$) la Lp; en este sentido, los pollos jóvenes tardaron más tiempo en postrarse que las aves de mayor edad (Figura 3).

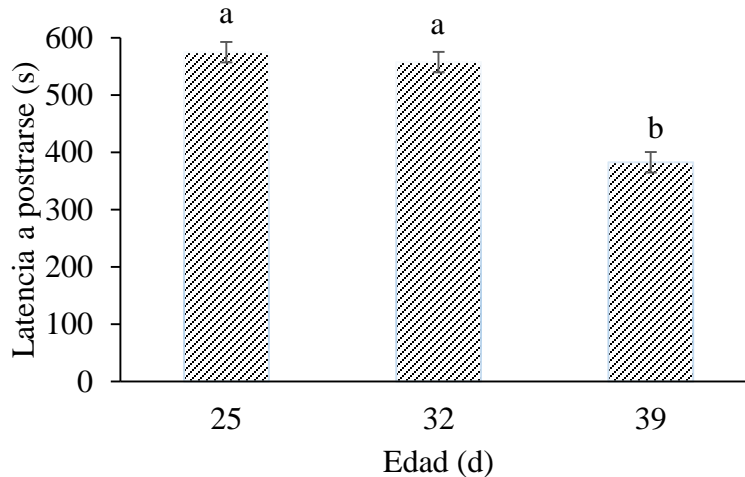


Figura 3. Latencia a postrarse de pollos de engorda a tres diferentes edades. ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$).

Cada columna representa la media \pm EE de 96 observaciones.

Quemaduras plantares y del corvejón

La interacción cama*densidad*edad fue significativa (P=0.0028). El grupo TEZ-D13 mostró menores lesiones de Qpc en comparación con los demás tratamientos; además, se observó que las quemaduras incrementan con la edad de las aves (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados de quemaduras plantares y del corvejón, criados sobre tezontle o viruta de madera a una densidad de 13 o 18 pollos/m² a diferentes edades.

Edad (d)	Grado de quemaduras plantares y del corvejón, %			
	0	1	2	3
	TEZ-D13			
25	25.00	70.83	4.16	0.00
32	0.00	70.83	29.16	0.00
39	0.00	33.33	58.33	8.33
	TEZ-D18			
25	0.00	54.16	45.83	0.00
32	0.00	0.00	66.66	33.33
39	0.00	4.16	66.66	29.16
	VIR-D13			
25	0.00	58.33	41.66	0.00
32	0.00	8.33	70.83	20.83
39	0.00	25.00	58.33	16.66
	VIR-D18			
25	12.50	75.00	12.50	0.00
32	4.16	50.00	45.83	0.00
39	0.00	29.16	62.50	8.33
Fuente de variación	P			
Cama	0.7916			
Densidad	0.1000			
Edad	<0.0001			
Cama*Densidad*Edad	0.0028			

Se evaluaron 24 aves/tratamiento a los 25, 32 y 39 d. TEZ= tezontle, VIR= viruta, D13= 13 aves/m², D18= 18 aves/m².

Angulación valgus/varus

A los 25 y 39 d, el grupo de aves criadas sobre VIR-D13 mostró menor grado de angulación que los demás tratamientos (cama*densidad*edad, $P \leq 0.05$); sin embargo, a los 32 d el grupo de aves alojadas en TEZ-D13 mostró menor AngV en comparación con los demás tratamientos. No se encontraron pollos con angulación grado 3 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados de angulación valgus/varus, criados sobre tezontle o viruta de madera a una densidad de 13 o 18 pollos/m² a diferentes edades.

Edad (d)	Grado de angulación valgus/varus, %			
	0	1	2	3
	TEZ-D13			
25	62.50	37.50	0.00	0.00
32	58.33	41.66	0.00	0.00
39	25.00	58.33	16.66	0.00
	TEZ-D18			
25	62.50	37.50	0.00	0.00
32	29.16	54.16	16.66	0.00
39	16.66	58.33	25.00	0.00
	VIR-D13			
25	83.33	16.66	0.00	0.00
32	41.66	29.16	29.16	0.00
39	33.33	62.50	4.16	0.00
	VIR-D18			
25	70.83	29.16	0.00	0.00
32	41.66	58.33	0.00	0.00
39	20.83	62.50	14.66	0.00
Fuente de variación	P			
Cama	0.5997			
Densidad	0.3741			
Edad	<0.0001			
Cama*Densidad*Edad	0.0459			

Se evaluaron 24 aves/tratamiento a los 25, 32 y 39 d. TEZ= tezontle, VIR= viruta, D13= 13 aves/m², D18= 18 aves/m².

Humedad de la cama

El tezontle mostró menor contenido de humedad que la viruta en los tres periodos evaluados (25, 32 y 39 d). De manera similar se observó menor humedad retenida en las camas con D13 que con D18 a los 25 y 32 d (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de humedad en las camas de pollos de engorda criados a una densidad de 13 o 18 pollos/m² a diferentes edades.

Material de cama	Edad (d)		
	25	32	39
Tezontle	18.05 ^b	30.68 ^b	31.85 ^b
Viruta	46.92 ^a	47.65 ^a	47.30 ^a
EE	2.10	2.08	2.10
Densidad			
D13	26.60 ^b	35.64 ^b	37.18 ^a
D18	38.47 ^a	42.69 ^a	41.97 ^a
EE	2.10	2.08	2.10
Fuente de variación		P	
Cama		<0.0001	
Densidad		0.0136	
Cama*Densidad		0.7427	

^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$).

Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas

El consumo de alimento fue menor en los animales criados a densidad de 18 pollos/m² respecto a 13 pollos/m² durante todo el periodo de engorda, con excepción de la semana 6. En este estudio se observó disminución de la ganancia de peso en las aves criadas con densidad de 18 pollos/m² en comparación con las criadas a densidad de 13 pollos/m² (Cuadro 5). Para la conversión alimenticia no se observaron diferencias para las primeras cinco semanas; sin embargo, los pollos criados a densidad de 13 pollos/m² mostraron menor conversión alimenticia respecto a los criados a 18 pollos/m² durante la semana 6 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comportamiento productivo (g) de pollos de engorda criados a una densidad de 13 o 18 pollos/m² durante un periodo de 6 semanas.

Densidad	Semana						EE
	1	2	3	4	5	6	
	Consumo de alimento						
D13	173 ^a	302 ^a	604 ^a	809 ^a	1255 ^a	1265 ^a	12.65
D18	152 ^b	255 ^b	525 ^b	754 ^b	1133 ^b	1212 ^a	
Fuente de variación	P						
Cama	0.0927						
Densidad	<0.0001						
Cama*Densidad	0.2835						
	Ganancia de peso						
D13	132 ^a	191 ^a	401 ^a	470 ^a	641 ^a	684 ^a	8.58
D18	122 ^b	164 ^b	360 ^b	440 ^b	591 ^b	629 ^b	
Fuente de variación	P						
Cama	0.0713						
Densidad	<0.0001						
Cama*Densidad	0.6823						
	Conversión alimenticia						
D13	1.31 ^a	1.58 ^a	1.50 ^a	1.72 ^a	1.96 ^a	1.85 ^b	0.02
D18	1.24 ^a	1.55 ^a	1.45 ^a	1.71 ^a	1.92 ^a	1.93 ^a	
Fuente de variación	P						
Cama	0.9835						
Densidad	0.0905						
Cama*Densidad	0.0905						

^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$).

Para el peso al sacrificio no se encontró efecto del tipo de cama. Las aves criadas a 13 pollos/m² mostraron mayor peso al sacrificio que las alojadas a 18 pollos/m², de manera similar se observó el mismo comportamiento para el peso de la canal. No se encontraron diferencias en el peso de piernas entre tratamientos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Pesos al sacrificio, de la canal y de piernas (g) al d 45 de pollos de engorda criados a una densidad de 13 o 18 pollos/m².

Densidad	Peso al sacrificio	Peso de la canal	Peso de piernas ¹
D13	2773 ^a	2216 ^a	386 ^a
D18	2554 ^b	2002 ^b	368 ^a
EE	31.9	31.4	7.4
Fuente de variación		P	
Cama	0.4187	0.8527	0.3743
Densidad	0.0004	0.0004	0.1234
Cama*Densidad	0.3354	0.5286	0.5066

^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$).

¹Incluye el peso de piernas y patas.

DISCUSIÓN

En la industria avícola los pollos se crían en altas densidades de población; en consecuencia, el incremento de la densidad reduce el bienestar de las aves (Meluzzi y Sirri, 2009) e incrementa la humedad de la cama, lo que origina mayor grado de lesiones en los cojinetes plantares (Dozier *et al.*, 2006) y reducción de la habilidad para caminar (Venalainen *et al.*, 2006). Probablemente el tezontle como material de cama y una densidad de 13 pollos/m², reducirán las lesiones relacionadas con la integridad de la tibia y del tendón calcáneo, se mejorará el bienestar (habilidad para caminar, latencia a postrarse, quemaduras plantares y del corvejón y angulación valgus/varus) sin afectar el comportamiento productivo y rendimiento de canal de los pollos de engorda.

Resistencia de la tibia

Los trastornos óseos conducen a problemas de movilidad o cojera, son poco frecuentes en pollos de lento crecimiento y gallinas ponedoras, pero común en pollos modernos de reproductoras pesadas, patos y pavos (Mench, 2004). En este estudio se observó mayor RTi en los pollos con D13 que con D18. Estos resultados coinciden con los de Škrbić *et al.* (2009) quienes reportaron que la resistencia de la tibia fue mayor en los pollos alojados en baja densidad que en los criados

en condiciones de mayor densidad. Los resultados del presente estudio pueden ser atribuidos a que los pollos criados en baja densidad tuvieron más espacio y probablemente realizaron mayor actividad física que los criados en alta densidad, lo cual favoreció la resistencia de la tibia (Reiter y Bessei, 1995; Bradshaw *et al.*, 2002). Al respecto, Sorensen *et al.* (2000) y Foutz *et al.* (2007) informaron sobre los efectos positivos de la actividad física en la calidad de los huesos, ya que la falta de ejercicio reduce la fortaleza de la tibia.

Resistencia del tendón

El rápido crecimiento puede provocar una disminución de la irrigación sanguínea y degeneración vascular, o pobre fuerza de los tendones (Julian, 1998). En el presente estudio, los pollos criados sobre viruta mostraron tendones más resistentes que aquellos criados sobre tezontle. Estos resultados probablemente se deben a que el tezontle afectó negativamente la integridad del tendón debido a que las aves realizaron esfuerzo adicional para mantener la estabilidad de las patas en este material de cama, estos resultados concuerdan con los publicados por Wideman *et al.* (2012) quienes encontraron que los pollos criados en corrales con piso de alambre desarrollaron mayor incidencia de cojera que aquellos alojados en camas de viruta, debido a que los pisos de alambre causaron inestabilidad en las patas, lo que impuso un esfuerzo adicional de torsión, estrés y tensión sobre las articulaciones de las piernas. Ruiz-Feria *et al.* (2014) reportaron que el uso de rampas entre comederos y bebederos afectó negativamente la integridad del tendón. Se ha informado que el ejercicio físico mejora la estructura, composición química y propiedades mecánicas del tendón (Nakagaki *et al.*, 2007), además, el tendón responde negativamente al desuso debido a que disminuye la concentración de proteoglicanos y glucosaminoglicanos que influyen en la capacidad de absorción de energía, lo que podría explicar la reducción de la tenacidad estructural del tendón

(Foutz *et al.*, 2007). Por lo tanto, los resultados del presente estudio sugieren evaluar promover el ejercicio físico para mejorar la fortaleza de la tibia y del tendón en los pollos de engorda.

Cenizas, calcio y fósforo en la tibia

En este estudio el contenido de cenizas, Ca y P de la tibia no se vio afectado por el material de cama o la densidad de población. Esto posiblemente se debió a que las aves utilizadas en este experimento recibieron el mismo régimen de luz y programa de alimentación. Al respecto, Bonser y Casinos (2003) y Shim *et al.* (2012a) mencionaron que la cantidad de cenizas presente en el hueso es proporcional a su grado de resistencia a la ruptura, lo cual no se observó en este estudio. Onyango *et al.* (2003) documentaron que el porcentaje de cenizas incrementó linealmente con los niveles de calcio y fósforo en la dieta. En este estudio, la mineralización de la tibia no mostró relación con su resistencia, lo cual sugiere que el contenido de cenizas podría incrementarse mediante la adición de calcio y fósforo en la dieta.

Habilidad para caminar

Las aves criadas sobre TEZ-D13 mostraron una mejoría en Hc ($P=0.066$). Esto se atribuye a que las camas de tezontle presentaron menor porcentaje de humedad que las camas de viruta durante el periodo de engorda, mientras que la baja densidad redujo el contenido de humedad en el tezontle. Estos factores disminuyeron la incidencia de quemaduras plantares, mismas que se han correlacionado positivamente con la habilidad para caminar (Kestin *et al.*, 1999). De acuerdo con estos resultados, existen reportes de que la habilidad para caminar mejora en las aves criadas en baja densidad, debido a una mayor actividad física (Sorensen *et al.*, 2000), además, el incremento de la humedad de la cama está asociada con una menor habilidad para caminar (Su *et al.*, 2000).

Latencia a postrarse

Se ha reportado que los pollos pasan alrededor del 76% de su tiempo postrados conforme avanza la edad (Shim *et al.*, 2012). En este estudio se observó que la edad de las aves es un factor determinante del tiempo de postración, que puede ser explicado por el aumento de peso corporal a una mayor edad, por lo tanto, las aves con problemas de cojera no pueden permanecer mucho tiempo de pie debido a que no soportan su peso corporal (Weeks *et al.*, 2002). Además, se observó una correlación negativa (-0.36, $P < 0.0001$) entre el tiempo que permanecieron de pie y la puntuación de la habilidad para caminar, lo cual coincide con lo reportado por Berg y Sanotra (2003). Al respecto, Weeks *et al.* (2002) registraron que las aves con puntuaciones de 0 y 1 permanecieron más tiempo de pie que aquellas con puntuaciones más altas.

Quemaduras plantares y del corvejón

Los resultados de este estudio mostraron que el tezontle y 13 aves/m² reducen la incidencia de quemaduras plantares y de corvejón; además, se observó que las lesiones se agravan con la edad de las aves. Estos resultados se explican porque la densidad baja y el tezontle contribuyeron a disminuir el contenido de humedad en la cama. Por otra parte, las quemaduras plantares se agravaron debido a que la humedad del tezontle se incrementó conforme avanzó la edad de los pollos; sin embargo, la humedad del tezontle fue menor que en las camas de viruta. Existen reportes de que la incidencia de quemaduras plantares son influenciadas por la humedad de la cama debido a la densidad de población (Sorensen *et al.*, 2000; Dawkins *et al.*, 2004; Almeida-Paz *et al.*, 2013), lo cual coincide con lo observado en el presente estudio. Nääs *et al.* (2009) observaron que la disminución de la habilidad para caminar conduce a quemaduras en los corvejones y ampollas en la pechuga debido a que los pollos pasan mucho tiempo postrados sobre una cama de mala calidad. Buijs *et al.* (2009) reportaron que las quemaduras plantares y del corvejón son más graves a medida

que se incrementa la densidad. Kjaer *et al.* (2006) reportaron una alta incidencia de quemaduras en el corvejón para las aves con mayor peso corporal, debido a que las aves más pesadas tienden a postrarse más tiempo en comparación con las aves de menor peso. Los resultados del presente estudio mostraron que el tezontle es un sustrato que contribuye a disminuir la incidencia de quemaduras plantares y del corvejón, y al mismo tiempo se obtuvieron resultados favorables sobre la habilidad para caminar en los pollos de engorda.

Angulación valgus/varus

Los problemas de patas en los pollos de engorda pueden estar relacionados con su potencial de crecimiento debido a que los huesos corticales son porosos, lo que origina deformidades óseas (Shim *et al.*, 2012a). Los casos severos de angulación (valgus) causan el desplazamiento del tendón gastrocnemius (Bradshaw *et al.*, 2002), provocando incapacidad para caminar en las aves (Shim *et al.*, 2012). En este estudio, los pollos criados sobre VIR-D13 presentaron menor grado de angulación a los 25 y 39 d; sin embargo, a los 32 d las aves del grupo TEZ-D13 mostraron menor angulación que los demás tratamientos. Estos resultados se atribuyen al mayor espacio para la actividad física en los pollos criados a baja densidad comparados con aquellos en alta densidad; al respecto, Bradshaw *et al.* (2002) describieron que la incidencia de la angulación valgus/varus disminuye en las aves más activas. Por otra parte, Su *et al.* (2000) mencionaron que los pollos criados en camas de viruta realizaron mayor actividad física que aquellos criados sobre paja, resultados que coinciden parcialmente con los obtenidos en este estudio. Fernandes *et al.* (2012) encontraron diferencias para la deformidad valgus en la pierna izquierda respecto a la edad, con una diferencia más grande al d 42. Existen reportes de que la angulación varus en la pierna derecha es mayor en pollos de rápido crecimiento que en los de lento crecimiento; además, la incidencia de varus es de 3% en pollos criados en piso y 11% en las aves criadas en jaulas (Leterrier y Nys,

1992), sugiriendo que el ambiente de crianza y la densidad de población pueden promover la aparición de estos daños.

Humedad de la cama

En este estudio, el tezontle mostró menor retención de humedad que la viruta, mientras que a mayor densidad se observó aumento de la humedad en las camas. Estos resultados se explican porque el tezontle es un material que retiene poca humedad (Murillo *et al.*, 1967), característica de algunas rocas minerales (Ponce-Lira *et al.*, 2013). Además, la densidad baja utilizada en este estudio favoreció el menor contenido de humedad en el tezontle. Lo anterior confirma los resultados de que las aves criadas en TEZ-D13 tuvieron menores grados de quemaduras plantares y de corvejón que los demás tratamientos. Similarmente, Almeida-Paz *et al.* (2013) encontraron que el incremento de humedad de la cama afectó negativamente la incidencia de las quemaduras plantares. Asimismo, Bessei (2006) reportó que la humedad aumentó con la edad y la densidad e influyó sobre el bienestar de las aves.

Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas

En este estudio el consumo de alimento fue menor en pollos con densidades de 18 que en aquellos criados a 13 pollos/m² durante todo el periodo de engorda (42 d), sin diferencias en la semana 6. Esto puede atribuirse a que las aves tuvieron menor acceso a los comederos por efecto de la densidad de población y mayor competencia para llegar al comedero (Dozier *et al.*, 2005; Abudabos *et al.*, 2013). Bessei (2006) mencionó que la densidad actúa sobre el consumo y la ganancia de peso a través del estrés calórico que por la restricción física del espacio de las aves. Está bien documentado que las altas densidades de población reducen el consumo de alimento y la ganancia de peso (Valdivié y Dieppa, 2002; Dawkins *et al.*, 2004; Dozier *et al.*, 2005, 2006; Abudabos *et al.*, 2013). El aumento de la densidad de población incrementa la producción neta de

pollos de engorda, a pesar de que la ganancia de peso se reduce (Bessei, 2004). La conversión alimenticia fue similar en las primeras cinco semanas pero diferente en la semana 6, esto puede ser debido a que los pollos criados a 18 aves/m² redujeron su consumo por el acceso limitado al comedero y a la densidad de población. Estos resultados coinciden parcialmente con los reportados por Dozier *et al.* (2005) y Abudabos *et al.* (2013), quienes encontraron que la densidad de población no afectó la conversión alimenticia. Valdivié y Dieppa (2002) mencionaron que con altas densidades se puede lograr mayor eficiencia en la utilización de las instalaciones, sin afectar la conversión alimenticia. Para el peso al sacrificio y peso de la canal, los pollos criados a D13 mostraron mayor peso que los alojados a D18. Estos resultados se deben a que los pollos criados en baja densidad fueron más pesados que aquellos alojados en altas densidades. Al respecto, Dozier *et al.* (2006) observaron que el peso de la canal disminuyó linealmente conforme se incrementó la densidad de población; contrariamente, Tong *et al.* (2012) no encontraron efecto de la densidad sobre el rendimiento de la canal en los pollos de engorda. En el peso de piernas no se observaron diferencias entre tratamientos, posiblemente porque la mayor cantidad de músculo producido en el ave se depositó en la pechuga. El tezontle mejoró la habilidad para caminar y disminuyó las quemaduras plantares y del corvejón, además retuvo bajo contenido de humedad como material de cama sin afectar el comportamiento productivo y rendimiento de la canal en los pollos de engorda; sin embargo, causó efectos negativos en la resistencia del tendón y angulación de las patas. La edad influyó sobre el incremento del tiempo de postración de las aves. Finalmente, la densidad de 13 aves/m² mejoró el comportamiento productivo y redujo la humedad de la cama reflejando menor grado de quemaduras plantares y una mejor habilidad para caminar.

REFERENCIAS

- Abudabos, A. M., Samara, E. M., Hussein, E. O. S., Al-Ghadi M. Q. and Al-Atiyat, R. M. 2013. Impacts of stocking density on the performance and welfare of broiler chickens. *Ital. J. Anim. Sci.* 12: 66-71.
- Almeida-Paz, I. C. L., García, R. G., Bernardi, R., Nääs, I. A., Caldara, F. R., Freitas, L. W., Seno, L. O., Ferreira, V. M. O. S., Pereira, D. F. and Cavichiolo, F. 2010. Selecting appropriate bedding to reduce locomotion problems in broilers. *Braz. J. Poult. Sci.* 12 (3): 189-195.
- Almeida-Paz, I. C. L., García, R. G., Bernardi, R., Seno, L. O., Nääs, I. A. and Caldara, F. R. 2013. Locomotor problems in broilers reared on new and re-used litter. *Ital. J. Anim. Sci.* 12: 275-279.
- AOAC. *Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.* 1975. 12th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Benevides, G. P., Pimentel, E. R., Toyama, M. H., Novello, J. C., Marangoni, S. and Gomes, L. 2004. Biochemical and biomechanical analysis of tendons of caged and penned chickens. *Connect. Tissue Res.* 45: 206-215.
- Berg, C. C. 2004. Pododermatitis and hock burn in broiler chickens. *In: Weeks, C. A. and Butterworth, A. (Eds.) Measuring and Auditing Broiler Welfare.* CAB International. Wallingford, UK. pp: 37-49.
- Berg, C. and Sanotra, G. S. 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. 2004. Stocking density. *In: Weeks C. A. and Butterworth, A. (Eds) Measuring and Auditing Broiler Welfare.* CAB International. Wallingford, UK. pp: 133-143.
- Bessei, W. 2006. Welfare of broilers: a review. *World's Poult. Sci. J.* 62: 455-466.
- Bonser, R. H. C. and Casinos, A. 2003. Regional variation in cortical bone properties from broiler fowl-A first look. *Br. Poult. Sci.* 44: 350-354.

- Bradshaw, R. H., Kirkden, R. D. and Broom, D. M. 2002. A review of the aetiology and pathology of leg weakness in broilers in relation to welfare. *Avian and Poult. Biol. Rev.* 13 (2): 45-103.
- Buijs, S., Keeling, L., Rettenbacher, S., Van Poucke, E. and Tuytens, F. A. M. 2009. Stocking density effects on broiler welfare: Identifying sensitive ranges for different indicators. *Poult. Sci.* 88: 1536-1543.
- Dawkins, M. S., Donnelly, A. and Jones, T. A. 2004. Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density. *Nature.* 427: 342-344.
- Dozier, W. A., 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. *Poult. Sci.* 84: 1332-1338.
- Dozier, W. A., Thaxton, J. P., Purswell, J. L., Olanrewaju, H. A., Branton, S. L. and Roush, W. B. 2006. Stocking density effects on male broilers grown to 1.8 kilograms of body weight. *Poult. Sci.* 85: 344-351.
- Fernandes, B. C. S., Martins, M. R. F. B., Mendes, A. A., Paz, I. C. L. A., Komiyama, C. M., Milbradt, E. L. and Martins, B. B. 2012. Locomotion problems of broiler chickens and its relationship with the gait score. *R. Bras. Zootec.* 41 (8): 1951-1955.
- Foutz, T., Ratterman, A. and Halper, J. 2007. Effects of immobilization on the biomechanical properties of the broiler tibia and gastrocnemius tendon. *Poult. Sci.* 86: 931-936.
- Garner, J. P., Falcone, C., Wakenel, P., Martin, M. and Mench, J. A. 2002. Reliability and validity of a modified gait scoring system and its use assessing tibial discondroplasia in broilers. *Br. Poult. Sci.* 43: 355-363.
- Julian, R. J. 1998. Rapid growth problems: ascites and skeletal deformities in broilers. *Poult. Sci.* 77: 1773-1780.
- Kestin, S. C., Knowles, T. G., Tinch, A. E. and Gregory, N. G. 1992. Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. *Vet. Rec.* 131: 190-194.

- Kestin, S. C., Su, G. and Sorensen, P. 1999. Different commercial broiler crosses have different susceptibilities to leg weakness. *Poult. Sci.* 78: 1085-1090.
- Kjaer, J. B., Su, G., Nielsen, B. L. and Sorensen, P. 2006. Foot pad dermatitis and hock burn in broiler chickens and degree of inheritance. *Poult. Sci.* 85: 1342-1348.
- Leterrier, C. and Nys, Y. 1992. Clinical and anatomical differences in varus and valgus deformities of chick limbs suggest different aetio-pathogenesis. *Avian Pathol.* 21: 429-442.
- Meluzzi, A., Fabbri, C., Folegatti, E. and Sirri, F. 2008. Survey of chicken rearing conditions in Italy: effects of litter quality and stocking density on productivity, foot dermatitis and carcass injuries. *Br. Poult. Sci.* 49 (3): 257-264.
- Meluzzi, A. and Sirri, F. 2009. Welfare of broiler chickens. *Ital. J. Anim. Sci.* 8 (Suppl. 1): 161-173.
- Mench, J. 2004. Lameness. *In: Weeks, C. A. and Butterworth, A. (Eds) Measuring and Auditing Broiler Welfare.* CAB International. Wallingford, UK. pp: 3-17.
- Moller, A. P., Sanotra, G. S. and Vestergaard, K. S. 1995. Developmental stability in relation to population density and breed of chickens *Gallus gallus*. *Poult. Sci.* 74: 1761-1771.
- Murillo, S. B., Cuca, M. G. y Aguilera, A. A. 1967. Empleo de tezontle (Espuma volcánica) como material de cama para aves. *Téc. Pec.* 10: 9-13.
- Nääs, I. A., Almeida-Paz, I. C. L., Baracho, M. S., Menezes, A. G., Bueno, L. G. F., Almeida, I. C. L. and Moura, J. D. 2009. Impact of lameness on broiler well-being. *J. Appl. Poult. Res.* 18: 432-439.
- Nakagaki, W. R., Biancalana, A., Benevides, G. P. and Gomes, L. 2007. Biomechanical and biochemical properties of chicken calcaneal tendon under effect of age and nonforced active exercise. *Connect. Tissue Res.* 48: 219-228.
- Onyango, E. M., Hester, P. Y., Stroshine, R. and Adeola, O. 2003. Bone densitometry as an indicator of percentage tibia ash in broiler chicks fed varying dietary calcium and phosphorus levels. *Poult. Sci.* 82:1787-1791.

- Ponce-Lira, B., Ortiz-Polo, A., Otazo-Sánchez, E. M., Reguera-Ruíz, E., Acevedo-Sandoval, O. A., Prieto-García, F. and González-Ramírez, C. A. 2013. Physical characterization of an extensive volcanic rock in México: “red tezontle” from Cerro de la Cruz, in Tlahuelilpan, Hidalgo. *Acta Universitaria*. 23 (4): 9-16.
- Reiter, K. and Bessei, W. 1995. Influence of training on the locomotor ability of fast and slow growing broilers. *In: Aktuelle Arbeiten zur artgemassen Tierhaltung KTBL-Schrift*. Darmstadt, Germany. pp: 206-217.
- Ruiz-Feria, C. A., Arroyo-Villegas, J. J., Pro-Martinez, A., Bautista-Ortega, J., Cortes-Cuevas, A., Narciso-Gaytan, C., Hernandez-Cazares, A. S. and Gallegos-Sanchez, J. 2014. Effects of distance and barriers between resources on bone and tendon strength and productive performance of broiler chickens. *Poult. Sci.* 93:1-10.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS ® 9.3 SQL Procedure User's Guide. SAS. Institute Inc. Cary, NC.
- Shim, M. Y., Karnuah, A. B., Mitchell, A. D., Anthony, N. B., Pesti, G. M. and Aggrey, S. E. 2012. The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content, and bone ash in broilers. *Poult. Sci.* 91: 1790-1795.
- Shim, M. Y., Karnuah, A. B., Anthony, N. B., Pesti, G. M. and Aggrey, S. E. 2012a. The effects of broiler chicken growth rate on valgus, varus, and tibial dyschondroplasia. *Poult. Sci.* 91: 62-65.
- Škrbić, Z., Pavlovski, Z. and Lukić, M. 2009a. Stocking density - factor of production performance, quality and broiler welfare. *Biotech. Anim. Husbandry*. 25 (5-6): 359-372.
- Škrbić, Z., Pavlovski, Z., Vitorović, D., Lukić, M. and Petrićević, V. 2009. The effects of stocking density and light program on tibia quality of broilers of different genotype. *Archiv. Zootechnica*. 12 (3): 56-63.
- Sorensen, P., Su, G. and Kestin, S. C. 2000. Effects of age and stocking density on leg weakness in broiler chickens. *Poult. Sci.* 79: 864-870.

- Su, G., Sorensen, P. and Kestin, S. C. 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.
- Tong, H. B., Lu, J., Zou, J. M., Wang, Q. and Shi, S. R. 2012. Effects of stocking on growth performance, carcass yield, and immune status of a local chicken breed. *Poult. Sci.* 91 (3): 667-673.
- Valdivié, M. y Dieppa, O. 2002. Densidad de pollos de ceba. Porciones comestibles/m². *Revista Cubana de Ciencia Agrícola.* 36 (2): 137-140.
- Venalainen, E., Valaja, J. and Jalava, T. 2006. Effects of dietary metabolisable energy, calcium and phosphorus on bone mineralisation, leg weakness and performance of broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 47: 301-310.
- Weeks, C. A., Knowles, T. G., Gordon, R. G., Kerr, A. E., Peyton, S. T. and Tilbrook, N. T. 2002. New method for objectively assessing lameness in broiler chickens. *Vet. Rec.* 151: 762-764.
- Wideman, R. F., Hamal, K. R., Stark, J. M., Blankenship, J., Lester, H., Mitchell, K. N., Lorenzoni, G. and Pevzner, I. 2012. A wire-flooring model for inducing lameness in broilers: evaluation of probiotics as a prophylactic treatment. *Poult. Sci.* 91: 870-883.

CAPÍTULO II.

RESUMEN

INCREMENTO DE LA DISTANCIA ENTRE COMEDEROS Y BEBEDEROS EN LA RESISTENCIA A LA RUPTURA DE LA TIBIA Y DEL TENDON CALCANEUS EN POLLOS DE ENGORDA

Artemio Jovanny Vargas Galicia, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la distancia entre comederos y bebederos en la resistencia a la ruptura de la tibia y del tendón calcáneo, variables de bienestar, comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas en pollos de engorda. Se utilizaron 864 pollos machos ‘Ross 308’ de un día de edad. Se evaluaron dos distancias de separación entre comederos y bebederos (3 y 9 m), los pollos fueron criados sobre roca volcánica (tezontle) a una densidad de 18 aves/m², con 4 repeticiones/tratamiento. A los 48 d, la tibia derecha y tendones fueron recolectados (40 pollos/tratamiento) y sometidos a pruebas de resistencia (N). Para la evaluación de la habilidad para caminar (Hc), latencia a postrarse (Lp), quemaduras plantares y del corvejón (Qpc) y angulación valgus/varus (AngV) fueron seleccionados al azar 32 pollos/tratamiento a los 29, 36, 43 y 49 d. El comportamiento productivo se registró semanalmente y los pesos al sacrificio, de la canal y de piernas se evaluaron a los 48 d. La distancia no afectó la resistencia de la tibia y del tendón. La edad afectó negativamente la Lp y Hc. No se observaron diferencias entre tratamientos para Qpc y AngV. Se observó mayor consumo de alimento, ganancia de peso y peso al sacrificio en las aves criadas en distancias de 3 m que las de 9 m. La distancia no afectó los pesos de la canal y piernas. El incremento de la distancia entre comederos y bebederos no mejoró las variables de bienestar, mientras que el consumo y ganancia de peso disminuyeron.

Palabras clave: distancia, tibia, tendón, latencia a postrarse.

ABSTRACT

INCREASING THE DISTANCE BETWEEN FEEDERS AND WATERERS ON TIBIA AND CALCANEUS TENDON BREAKING STRENGTH IN BROILERS

Artemio Jovanny Vargas Galicia, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

The objective of this study was to evaluate the effect of distance between feeders and waterers on tibia and tendon breaking strength, welfare variables, productive performance, slaughter, carcass and legs weight in broilers. 'Ross 308' male chicks (1-day-old, n=864) were randomly assigned to 1 of 2 different treatments: distance between feeders and waterers of 3 m or 9 m. Chickens were raised on volcanic rock (tezontle) with a stocking density of 18 birds/m² (4 pen replicates/treatment). Right tibias and calcaneus tendons were collected at d 48 (40 birds/treatment) and subjected to breaking strength tests (N). Thirty-two birds/treatment were randomly selected to assess: walking ability (WA), latency to lie (LTL), foot pad lesions (FPL) and valgus/varus angulation (VAng) at d 29, 36, 43 and 49. The productive performance was recorded weekly and slaughter, carcass and legs weight were assessed at d 48. The tibia and tendon breaking strength was not affected by distance. Age negatively affected LTL and WA. No difference among treatments was observed for FPL and VAng. Birds in the 3 m treatment showed higher feed intake, body weight gain and slaughter weight than birds in the 9 m treatment. Carcass and legs weight were not affected by distance. Increasing the distance between feeders and waterers did not improve welfare variables, moreover, the body weight and feed intake in broilers was negatively affected.

Key words: distance, tibia, tendon, latency to lie.

INTRODUCCIÓN

Los problemas de patas representan una preocupación económica y de bienestar en la producción de pollos de engorda (Kapell, 2013). Posiblemente el incremento de la actividad física previene los problemas de patas en las aves (Bradshaw *et al.*, 2002), debido a que la falta de ejercicio es uno de los factores responsables de la fortaleza de los huesos largos (Bizeray *et al.*, 2002) y de los tendones (Nakagaki *et al.*, 2007). Reiter y Bessei (1998) reportaron que el incremento de la distancia entre los comederos y bebederos representa una alternativa para fomentar la actividad locomotora en condiciones prácticas y, por tanto, puede contribuir a la reducción de los problemas de patas. En un estudio previo se encontró que la distancia (8 m) entre comederos y bebederos mejoró la fortaleza de los huesos y disminuyó el tiempo de postración de la aves (Ruiz-Feria *et al.*, 2014), adicionalmente, se observó que el uso de tezontle como material de cama retiene poca humedad (Murillo *et al.*, 1967), factor que reduce la incidencia de quemaduras plantares y mejora la habilidad para caminar en los pollos de engorda. Por lo tanto, la hipótesis de este estudio fue que el incremento de la distancia entre comederos y bebederos promoverá el ejercicio moderado en los pollos de engorda, en consecuencia, reducirán las lesiones relacionadas con la integridad de la tibia y del tendón calcáneo y se mejorará el bienestar sin afectar el comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas. Así, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la distancia entre comederos y bebederos en la resistencia a la ruptura de la tibia y del tendón calcáneo, indicadores de bienestar (habilidad para caminar, latencia a postrarse, quemaduras plantares y del corvejón y angulación valgus/varus), comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas en pollos de engorda.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las instalaciones avícolas del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, México. Se utilizaron 864 pollitos machos ‘Ross 308’ de un día de edad. Los pollos fueron criados sobre roca volcánica (tezontle) con una densidad de 18 aves/m², con 4 repeticiones por tratamiento. Se evaluaron dos tratamientos; distancia de separación entre comederos y bebederos de 3 y 9 m. El experimento duró 49 d. La alimentación consistió de tres fases: iniciación (0 a 21 d), crecimiento (22 a 35 d) y finalización (36 a 49 d). Se utilizó un programa de iluminación 23 h luz: 1 h oscuridad durante los primeros 14 d. El agua se ofreció al libre acceso, mientras que el alimento se restringió 8 h diarias a partir de los 15 d. Los pollos se vacunaron contra la enfermedad de Newcastle a los 14 d de edad. Para las camas se utilizaron 1200 g de tezontle por ave, el tamaño de partícula fue entre 2 y 5 mm.

Resistencia de la tibia (RTi)

Para evaluar la RTi se seleccionaron 40 pollos/tratamiento de manera aleatoria y se sacrificaron con un cuchillo aturdidor (modelo VS-200, Midwest Processing Systems, Minneapolis, MN) a los 48 d de acuerdo a la norma NOM-033-ZOO-1995. La tibia derecha fue extraída y sometida a la prueba de resistencia utilizando un sensor Force Plate (Vernier Software & Technology, Beaverton, USA). La fuerza máxima de ruptura se reportó en Newtons (N).

Resistencia del tendón (RTe)

Los tendones de las piernas izquierdas fueron removidos para ser sometidos a la prueba de resistencia a la ruptura al d 48, los extremos de los tendones se sumergieron en nitrógeno líquido y se fijaron con papel lija en los soportes del sensor Force Plate para ser tensados y registrar la fuerza de ruptura (N, 40 pollos/tratamiento).

Para evaluar la habilidad para caminar, latencia a postrarse, quemaduras plantares y del corvejón y angulación valgus/varus se seleccionaron de manera aleatoria 32 aves/tratamiento a los 29, 36, 43 y 49 d de edad.

Habilidad para caminar (Hc)

La medición de la habilidad para caminar se realizó simultáneamente por dos evaluadores que calificaron a cada ave. Se utilizó la escala desarrollada por Kestin *et al.* (1992) y modificada por Garner *et al.* (2002). Esta variable se registró en una escala de 0 a 5. 0, indica un pollo diestro y ágil; 1, pollo con leve defecto al caminar; 2, ave con problemas evidentes para caminar; 3, anormalidad obvia que afecta la habilidad del ave para moverse, particularmente con reducida aceleración y velocidad de movimiento; 4, pollo con severo defecto al caminar, solamente caminan cuando se estimula o cuando tienen una fuerte motivación y 5, ave que no puede caminar en lo absoluto.

Latencia a postrarse (Lp)

Se utilizó la prueba descrita por Berg y Sanotra (2003) para evaluar la latencia a postrarse. Esta prueba se basa en que el contacto corporal con el agua es una experiencia aversiva para las aves. Los pollos se colocaron dentro de contenedores de plástico con agua a 3 cm de altura y temperatura de 32 °C, posteriormente se procedió a tomar el tiempo transcurrido hasta el momento en que el ave se postró por completo. La prueba se suspendió si el ave permaneció de pie después de 600 s.

Quemaduras plantares y del corvejón (Qpc)

Las almohadillas plantares y la articulación tibio-tarsal de cada ave se midió de acuerdo con la metodología descrita por Su *et al.* (1999). Ambas piernas se evaluaron en una escala de 0 a 3. 0, pollo sin daños; 1, ave con daño menor; 2, presencia de un daño evidente y 3, pollo con quemaduras extendidas e inflamación.

Angulación valgus/varus (AngV)

El grado de angulación se midió de acuerdo a la metodología descrita por Moller *et al.* (1995). La escala de evaluación para esta variable fue de 0 a 3. Donde 0, indica no angulación; 1, pollos con poca angulación; 2, aves con angulación evidente y 3, angulación severa.

Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas

Las variables consumo de alimento (g), ganancia de peso (g) y conversión alimenticia (g/g) se registraron semanalmente hasta el d 49. Para la evaluación del peso al sacrificio, de la canal y el peso de piernas (g) se seleccionaron de manera aleatoria 40 aves/tratamiento a los 48 d.

Análisis Estadístico

Las variables RTi, RTe, peso al sacrificio, peso de la canal y peso de piernas se analizaron con un diseño experimental completamente al azar mediante el procedimiento MIXED. Las características Hc, Qpc y AngV se analizaron con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 4 (distancia, edad del ave) mediante el procedimiento GLIMMIX. La variable Lp se analizó bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 4 (distancia, edad del ave) mediante el procedimiento MIXED. Para el análisis de las variables mencionadas, el pollo se consideró como unidad experimental. El consumo de alimento, ganancia de peso y conversión alimenticia se analizaron con mediciones repetidas mediante el procedimiento MIXED (SAS Institute Inc., 2011); el corral se consideró como la unidad experimental. Los resultados se presentan como la media \pm EE (error estándar).

RESULTADOS

Resistencia de la tibia

En el presente estudio no se encontraron diferencias en la resistencia de la tibia por efecto de la distancia (Figura 1).

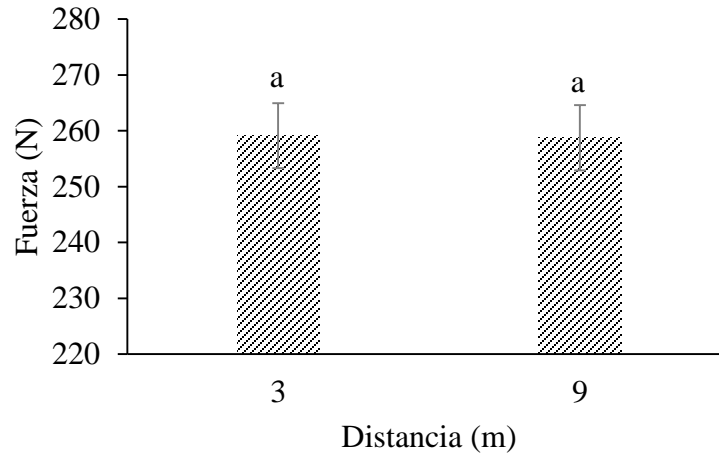


Figura 1. Resistencia de la tibia de pollos de engorda al d 48, criados con 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos. ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 40 observaciones.

Resistencia del tendón

La distancia de separación entre comederos y bebederos no tuvo efecto sobre la resistencia del tendón de los pollos de engorda (Figura 2).

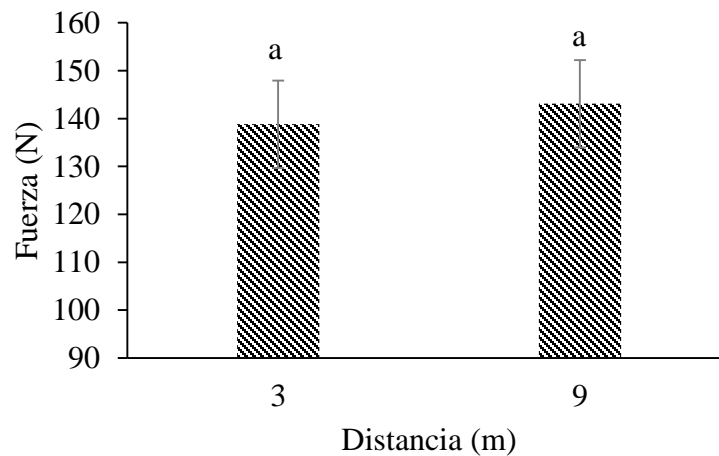


Figura 2. Resistencia del tendón calcáneo al d 48 de pollos de engorda criados con 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos. ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 40 observaciones.

Habilidad para caminar

La distancia de separación entre comederos y bebederos no afectó Hc. Los pollos jóvenes (29 d) presentaron mejores puntuaciones en comparación con las aves adultas (36, 43 y 49 d) por lo que los resultados indicaron una disminución de la Hc con la edad de las aves (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados en la calificación de la habilidad para caminar a cuatro diferentes edades.

Edad (d)	Puntuación de la habilidad para caminar, %					
	0	1	2	3	4	5
29	82.81	17.19	0.00	0.00	0.00	0.00
36	40.63	37.50	21.88	0.00	0.00	0.00
43	20.31	40.63	37.50	1.56	0.00	0.00
49	6.25	28.13	50.00	15.63	0.00	0.00
Fuente de variación.	P					
Distancia	0.0840					
Edad	<0.0001					
Distancia*Edad	0.6405					

Se utilizaron 32 aves/tratamiento a los 29, 36, 43 y 49 d.

Latencia a postrarse

No se observó efecto de la distancia para la prueba Lp. La edad afectó negativamente la LTL, las aves jóvenes permanecieron de pie más tiempo en comparación con las aves adultas (Figura 3).

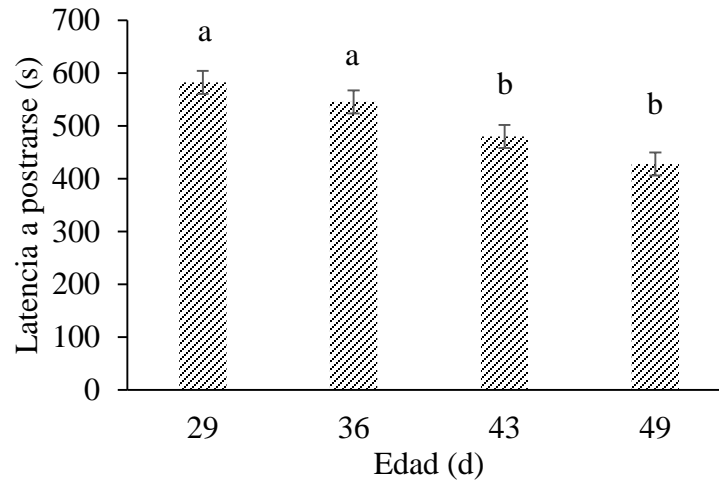


Figura 3. Latencia a postrarse de pollos de engorda a cuatro diferentes edades, criados en distancias de 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos. ^{a, b} Medias con diferente superíndice son diferentes ($P \leq 0.05$). Cada columna representa la media \pm EE de 64 observaciones.

Quemaduras plantares y del corvejón

Para Qpc no se encontraron diferencias por efecto de la distancia ni edad de las aves (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados de quemaduras plantares y corvejones criados en distancias de 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos a diferentes edades.

Edad (d)	Grado de quemaduras plantares y del corvejón, %			
	0	1	2	3
	3 m			
29	6.25	37.50	50.00	6.25
36	3.13	43.75	53.13	0.00
43	3.13	40.63	53.13	3.13
49	6.25	46.88	46.88	0.00
	9 m			
29	0.00	37.50	56.25	6.25
36	0.00	28.13	65.63	6.25
43	0.00	40.63	53.13	6.25
49	3.13	40.63	56.25	0.00
Fuente de variación	P			
Distancia	0.2503			
Edad	0.4113			
Distancia*Edad	0.7812			

Se utilizaron 32 aves/tratamiento a los 29, 36, 43 y 49 d.

Angulación valgus/varus

No se encontraron diferencias para AngV por efecto de la distancia y edad de las aves (Cuadro 3).

Cuadro 3. Porcentaje de pollos de engorda con diferentes grados de angulación valgus/varus, criados en distancias de 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos a diferentes edades.

Edad (d)	Grado de angulación valgus/varus, %			
	0	1	2	3
			3 m	
29	34.38	59.38	6.25	0.00
36	28.13	71.88	0.00	0.00
43	40.63	53.13	6.25	0.00
49	31.25	56.25	12.50	0.00
			9 m	
29	34.38	62.50	3.13	0.00
36	31.25	68.75	0.00	0.00
43	46.88	43.75	9.38	0.00
49	31.25	62.50	6.25	0.00
Fuente de variación			P	
Distancia			0.7120	
Edad			0.4954	
Distancia*Edad			0.9984	

Se utilizaron 32 aves/tratamiento a los 29, 36, 43 y 49 d.

Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas

En este estudio se observó mayor consumo de alimento en las aves criadas en distancias de 3 m que en aquellas criadas en distancias de 9 m, excepto en la semana 1 y 2, mientras que las aves criadas en distancias de 3 m mostraron mayor ganancia de peso en las semanas 2, 3 y 5 en comparación con las aves criadas en distancias de 9 m (Cuadro 4). Para la conversión alimenticia solo se observaron diferencias en la semana 4, siendo mayor en las aves criadas en distancias de 3 m (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comportamiento productivo (g) de pollos de engorda en distancias de 3 o 9 m separación entre comederos y bebederos durante un periodo de 7 semanas.

Distancia	Semana							EE
	1	2	3	4	5	6	7	
Consumo de alimento								
3 m	173 ^a	288 ^a	486 ^a	833 ^a	1153 ^a	1334 ^a	1170 ^a	14.3
9 m	163 ^a	248 ^a	438 ^b	784 ^b	1065 ^b	1278 ^b	1107 ^b	
P	0.6140	0.0551	0.0220	0.0215	0.0001	0.0087	0.0040	
Ganancia de peso								
3 m	139 ^a	192 ^a	312 ^a	467 ^a	633 ^a	669 ^a	530 ^a	9.7
9 m	131 ^a	156 ^b	271 ^b	476 ^a	595 ^b	668 ^a	523 ^a	
P	0.5576	0.0118	0.0053	0.4952	0.0087	0.9299	0.6037	
Conversión alimenticia								
3 m	1.2 ^a	1.5 ^a	1.5 ^a	1.8 ^a	1.8 ^a	2.0 ^a	2.2 ^a	0.03
9 m	1.2 ^a	1.6 ^a	1.6 ^a	1.6 ^b	1.8 ^a	1.9 ^a	2.1 ^a	
P	0.9612	0.0640	0.2882	0.0106	0.5932	0.1146	0.708	

^{a, b} Medias con diferente superíndice dentro de la misma columna son diferentes ($P \leq 0.05$). EE= error estándar.

Las aves criadas en distancia de 3 m mostraron mayor peso al sacrificio que aquellas criadas en distancias de 9 m, para el peso de la canal y peso de piernas no se encontraron diferencias entre tratamientos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Pesos al sacrificio, de la canal y de piernas (g) al d 48 de pollos de engorda criados en distancias de 3 o 9 m de separación entre comederos y bebederos.

Distancia	Peso al sacrificio	Peso de la canal	Peso de piernas ¹
3 m	3018 ^a	2463 ^a	432 ^a
9 m	2859 ^b	2369 ^a	413 ^a
EE	35.4	30.4	7.5
P	0.0191	0.0695	0.1167

^{a, b} Medias con diferente superíndice dentro de la misma columna son diferentes ($P \leq 0.05$). ¹Incluye el peso de piernas y patas. EE= error estándar.

DISCUSIÓN

El incremento de la actividad ha demostrado que mejora la habilidad para caminar y el desarrollo de los huesos en los pollos de engorda (Reiter y Bessei, 1995; Bradshaw *et al.*, 2002) y podría lograrse mediante el incremento de la distancia entre los comederos y bebederos (Ruiz-Feria *et al.*, 2014) o mediante la adición de barreras (Bizeray *et al.*, 2002); sin embargo, la relación exacta entre la actividad física y los trastornos de patas aun no es clara. La hipótesis del presente estudio fue que el incremento de la distancia entre comederos y bebederos promoverá el ejercicio moderado en los pollos de engorda, por lo tanto, se reducirán las lesiones relacionadas con la integridad de la tibia y del tendón calcáneo y se mejorará el bienestar (habilidad para caminar, latencia a postrarse, quemaduras plantares y del corvejón y angulación valgus/varus) sin afectar el comportamiento productivo, pesos al sacrificio, de la canal y de piernas en pollos de engorda.

Resistencia de la tibia

Hay reportes de que el incremento de la actividad locomotora mejora la condición de patas en los pollos de engorda (Bizeray *et al.*, 2002). En el presente estudio no se encontraron diferencias entre tratamientos para la resistencia de la tibia por efecto de la distancia. Estos resultados coinciden con los reportados por Ruiz-Feria *et al.* (2014) quienes no encontraron efecto de la distancia entre comederos y bebederos sobre la resistencia de la tibia cuando los pollos fueron criados en distancias de 1 y 6.6 m; sin embargo, encontraron una mejoría en los pollos criados en distancias de 8 m. Esta mejoría no se observó en este experimento, lo que se atribuye a que las aves a 3 y 9 m realizaron la misma actividad física, al caminar para consumir agua y alimento (Bokkers y Koene, 2002), por lo tanto, esto significa que los pollos presentaron huesos sanos. En base a los resultados del presente estudio, probablemente con 3 m de separación entre comederos y bebederos es suficiente para mantener en buen estado la integridad de los huesos, ya que en un estudio previo

(Ruiz-Feria *et al.*, 2014) se observó que la distancia entre las fuentes de alimentación no mejoró la resistencia de la tibia.

Resistencia del tendón

La ruptura del tendón ocurre por arriba del corvejón causada por el peso excesivo sobre los tendones (Julian, 2004). Al respecto, se ha reportado que la actividad física espontánea mejora las propiedades biomecánicas y bioquímicas del tendón (Nakagaki *et al.*, 2007). En concordancia con Ruiz-Feria *et al.* (2014) los resultados del presente estudio mostraron que la distancia de separación entre comederos y bebederos no afectó la resistencia del tendón de los pollos de engorda. Posiblemente esto significa que los pollos presentaron huesos y tendones sanos, debido a que la resistencia de la tibia tampoco se vio afectada por efecto de la distancia. Similarmente, Foutz *et al.* (2007) informaron que la actividad física (caminar en una cinta de correr) no afectó la resistencia, rigidez y relajación del tendón en pollos de engorda. Contrariamente, Benevides *et al.* (2004) reportaron que debido a su mayor concentración de proteoglicanos, colágeno y proteínas, los tendones flexores digitales superficiales de pollos criados en corrales mostraron mayor resistencia que los de pollos en jaulas.

Habilidad para caminar

En el presente estudio la distancia entre comederos y bebederos no influyó sobre Hc. De manera similar, Ruiz-Feria *et al.* (2014) no encontraron efectos de la distancia (3 u 8 m) sobre la habilidad para caminar o por la presencia de rampas entre comederos y bebederos. Sin embargo, los resultados de este estudio indicaron una disminución de Hc con la edad de las aves, acordes con los reportados por Sorensen *et al.* (2000) y Weeks *et al.* (2000) quienes mencionaron que debido al incremento de peso corporal, la habilidad para caminar se deteriora con la edad. En consecuencia, las aves adultas y más pesadas presentaron mayor dificultad para caminar (Nääs *et*

al., 2009). Kestin *et al.* (1999, 2001) mencionaron que la ganancia de peso es un factor determinante de la cojera en los pollos de engorda, y las aves con puntuaciones de 4 o 5 son de menor peso debido a que no pueden consumir agua y alimento; estas puntuaciones no se observaron en el presente estudio.

Latencia a postrarse

Weeks *et al.* (2000) reportaron que los pollos pasan del 76 a 86% de su tiempo postrados a medida que transcurre su edad. En este estudio no se encontraron diferencias por efecto de la distancia sobre la Lp; de manera similar, Ruiz-Feria *et al.* (2014) no encontraron efectos de la distancia o rampas sobre el tiempo de postración al d 28 en pollos de engorda. Por otra parte, se observó que la edad afectó negativamente la Lp; en consecuencia, los pollos jóvenes permanecieron de pie durante periodos de tiempo más largos en comparación con los de mayor edad. Esto se explica porque el tiempo que permanecen las aves de pie está relacionado negativamente con el incremento de peso corporal (Weeks *et al.*, 2000). En este sentido, Weeks *et al.* (2000) mencionaron que la proporción de aves postradas aumentó con la edad, adicionalmente, se deterioró la habilidad para caminar. Estos resultados concuerdan con los obtenidos sobre la habilidad para caminar, resistencia de la tibia y del tendón, y muestran que los pollos tuvieron buen estado de salud en las patas.

Quemaduras plantares y del corvejón

No se encontraron diferencias entre tratamientos por efectos de distancia o edad de las aves, resultados que se explican porque el material de cama utilizado en este estudio contribuyó a disminuir la gravedad de las quemaduras plantares, y posiblemente los pollos no permanecieron en el mismo lugar debido a que tuvieron que caminar para consumir agua y alimento. Similarmente, Ruiz-Feria *et al.* (2014) no encontraron diferencias en quemaduras plantares por

efecto de la distancia. Algunos autores reportaron que la incidencia de quemaduras plantares está directamente relacionada con la humedad de la cama (Meluzzi y Sirri, 2009; Almeida-Paz *et al.*, 2013). Nääs *et al.* (2009) observaron que la disminución de la habilidad para caminar conduce a quemaduras en los corvejones debido a que los pollos se postran mucho tiempo sobre una cama de mala calidad. Los resultados del presente estudio mostraron que la habilidad para caminar no se vio afectada por la distancia; pero disminuyó la incidencia de quemaduras plantares y de corvejones.

Angulación valgus/varus

El desarrollo de la angulación valgus/varus se ve influenciada por factores que aumentan la presión que se ejerce sobre las piernas, estos incluyen la ganancia de peso, actividad excesiva y pisos duros. La angulación valgus grave provoca el desplazamiento del tendón gastrocnemius y se agrava con la edad, por lo que las aves son incapaces de caminar (Bradshaw *et al.*, 2002). En este estudio no se encontraron diferencias para AngV por efecto de la distancia o edad de las aves. Tal vez porque los pollos realizaron actividad física, lo cual promovió buena salud de patas. Se ha demostrado que la incidencia de la angulación valgus/varus disminuye en las aves que son más activas (Bradshaw *et al.*, 2002). Por otro lado, posiblemente el peso corporal de los pollos no fue suficientemente elevado para provocar esta deformación. Arroyo-Villegas (2013) no encontró diferencias por efecto de la distancia o rampas para la angulación valgus/varus, posiblemente por la baja densidad de población utilizada. Leterrier y Nys (1992) reportaron que el peso corporal es menor en pollos afectados con angulación varus que en aquellos con angulación valgus. En el presente estudio, el incremento de la distancia no mejoró los indicadores de bienestar en los pollos de engorda, pero probablemente se pueden mejorar a través de estrategias de manejo como el uso de materiales de cama que retengan poca humedad o programas de iluminación y alimentación.

Comportamiento productivo y pesos al sacrificio, de la canal y de piernas

En este estudio el incremento de la distancia redujo el consumo de alimento en las aves (excepto en las semanas 1 y 2), posiblemente las aves realizaron menos visitas al comedero porque recorrían mayores distancias (9 m), mientras que las de 3 m, comieron con mayor frecuencia. Las aves en distancias de 3 m mostraron mayor ganancia de peso en las semanas 2, 3 y 5 que aquellas en 9 m, debido a que estas últimas consumieron menos alimento y probablemente tuvieron mayor gasto de energía al caminar. Se ha reportado que el gasto energético de la locomoción depende de la velocidad (caminar *vs* correr) de las aves (Nudds y Codd, 2012). Solo las aves criadas en distancias de 3 m en la semana 4, mostraron mayor conversión alimenticia, mayoritariamente no se detectó efecto de la distancia sobre esta variable. Estos resultados concuerdan parcialmente con los publicados por Ruiz-Feria *et al.* (2014), quienes reportaron que la conversión alimenticia no fue afectada por la distancia (Experimento 1: 1, 3.3 y 6.6 m; Experimento 2: 3 y 8 m). De la misma manera, Reiter y Bessei (2009) no encontraron diferencias en la conversión alimenticia cuando las aves tuvieron los comederos y bebederos a 2 o 12 m de separación. En este estudio, las aves en distancias de 3 m mostraron mayor peso al sacrificio que aquellas en 9 m, debido al mayor consumo de alimento; pero los pesos de la canal y de piernas no fueron diferentes. Similarmente, Ruiz-Feria *et al.* (2014) no encontraron efecto de la distancia de separación entre comederos y bebederos sobre el rendimiento en canal de los pollos de engorda, pero debido a su menor consumo y mayor gasto energético, las aves criadas en distancias de 8 m tuvieron menor grasa abdominal que aquellas en 3 m. Según este estudio, la mayor distancia entre los comederos y bebederos no mejoró la resistencia de la tibia y del tendón ni las variables de bienestar, mientras que el consumo de alimento y la ganancia de peso disminuyeron, por lo que se sugiere usar una distancia de 3 m entre comederos y bebederos.

CONCLUSIÓN GENERAL

El tezontle y 13 aves/m² mostraron algunos efectos benéficos sobre la salud de patas en los pollos de engorda: mejoró la habilidad para caminar, disminuyeron las quemaduras plantares y del corvejón y disminuyó el contenido de humedad de la cama sin afectar negativamente el comportamiento productivo y rendimiento en canal; contrariamente, el uso del tezontle afectó negativamente la resistencia del tendón. El incremento de la distancia entre los comederos y bebederos no afectó la resistencia de la tibia y del tendón ni mejoró las variables de bienestar, mientras que el consumo de alimento y ganancia de peso se vieron afectadas negativamente.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el proyecto de investigación PM 114100 del convenio de colaboración TAMU-CONACYT.

REFERENCIAS

- Almeida-Paz, I. C. L., García, R. G., Bernardi, R., Seno, L. O., Nääs, I. A. and Caldara, F. R. 2013. Locomotor problems in broilers reared on new and re-used litter. *Ital. J. Anim. Sci.* 12: 275-279.
- Arroyo-Villegas, J. J. 2013. Efecto de la distancia y rampas entre comederos y bebederos en el rendimiento productivo y la fortaleza del hueso de pollos en engorda. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 77 p.
- Benevides, G., Pimentel, E., Toyama, M., Novello, J. C., Marangoni, S. and Gomes, L. 2004. Biochemical and biomechanical analysis of tendons of caged and penned chickens. *Connect. Tissue Res.* 45:20-6215.
- Berg, C. and Sanotra, G. S. 2003. Can a modified latency-to-lie test be used to validate gait-scoring results in commercial broiler flocks?. *Anim. Welf.* 12: 655-659.

- Bizeray, D., Estevez, I., Leterrier, C. and Faure, J. M. 2002. Influence of increased environmental complexity on leg condition, performance, and level of fearfulness in broilers. *Poult. Sci.* 81: 767-773.
- Bokkers, E. A. M. and Koene, P. 2002. Sex and type of feed effects on motivation and ability to walk for a food reward in fast growing broilers. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 79: 247-261.
- Bradshaw, R. H., Kirkden, R. D. and Broom, D. M. 2002. A Review of the aetiology and pathology of leg weakness in broilers in relation to welfare. *Avian and Poult. Biol. Rev.* 13 (2): 45-103.
- Foutz, T. L., Griffin, A., Halper, J. and Rowland, G. 2007. Effects of activity on avian gastrocnemius tendon. *Poult. Sci.* 86:211-218.
- Garner, J. P., Falcone, C., Wakenel, P., Martin, M. and Mench, J. A. 2002. Reliability and validity of a modified gait scoring system and its use assessing tibial discondroplasia in broilers. *Br. Poult. Sci.* 43: 355-363.
- Julian, R. J. 2004. Evaluating the impact of metabolic disorders on the welfare of broilers. *In: Weeks C. A. and Butterworth, A. (Eds) Measuring and Auditing Broiler Welfare.* CAB International. Wallingford, UK. pp: 51-59.
- Kapell, D. 2013. Selection for improved leg health in purebred broiler lines. *Lohmann Information.* 48 (1): 23-33.
- Kestin, S. C., Knowles, T. G., Tinch, A. E. and Gregory, N. G. 1992. Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. *Vet. Rec.* 131: 190-194.
- Kestin, S. C., Su, G. and Sorensen, P. 1999. Different commercial broiler crosses have different susceptibilities to leg weakness. *Poult. Sci.* 78: 1085-1090.
- Kestin, S. C., Gordon, S., Su, G. and Sorensen, P. 2001. Relationships in broiler chickens between lameness, live weight, growth rate and age. *Vet. Rec.* 148:195-197.
- Leterrier, C. and Nys, Y. 1992. Clinical and anatomical differences in varus and valgus deformities of chick limbs suggest different aetio-pathogenesis. *Avian Pathol.* 21: 429-442.

- Meluzzi, A. and Sirri, F. 2009. Welfare of broiler chickens. *Ital. J. Anim. Sci.* 8 (Suppl. 1): 161-173.
- Moller, A. P., Sanotra, G. S. and Vestergaard, K. S. 1995. Developmental stability in relation to population density and breed of chickens *Gallus gallus*. *Poult. Sci.* 74: 1761-1771.
- Murillo, S. B., Cuca, M. G. y Aguilera, A. A. 1967. Empleo de tezontle (Espuma volcánica) como material de cama para aves. *Téc. Pec.* 10: 9-13.
- Nääs, I. A., Almeida-Paz, I. C. L., Baracho, M. S., Menezes, A. G., Bueno, L. G. F., Almeida, I. C. L. and Moura, J. D. 2009. Impact of lameness on broiler well-being. *J. Appl. Poult. Res.* 18: 432-439.
- Nakagaki, W. R., Biancalana, A., Benevides, G. P. and Gomes, L. 2007. Biomechanical and biochemical properties of chicken calcaneal tendon under effect of age and nonforced active exercise. *Connect Tissue Res.* 48: 219-228.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-033-ZOO-1995. Diario oficial de la federación, 7 de Julio de 1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. 12 p.
- Nudds, R. L. and Codd, J. R. 2012. The metabolic cost of walking on gradients with a waddling gait. *J. Exp. Biol.* 215: 2579-2585.
- Reiter, K. and Bessei, W. 1995. Influence of running on leg weakness of slow and fast growing broilers. Proceedings of the 29th International Congress of the International Society of Applied Ethology. Exeter, UK.
- Reiter, K. and Bessei, W. 1998. Effect of locomotor activity on bone development and leg disorders in broilers. *Archiv fur geflugelkunde.* 62: 247-253.
- Reiter, K. and Bessei, W. 2009. Effect of locomotor activity on leg disorder in fattening chicken. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 122: 264-270.
- Ruiz-Feria, C. A., Arroyo-Villegas, J. J., Pro-Martinez, A., Bautista-Ortega, J., Cortes-Cuevas, A., Narciso-Gaytan, C., Hernandez-Cazares, A. S. and Gallegos-Sanchez, J. 2014. Effects of

distance and barriers between resources on bone and tendon strength and productive performance of broiler chickens. *Poult. Sci.* 93: 1-10.

SAS Institute Inc. 2011. SAS ® 9.3 SQL Procedure User's Guide. SAS. Institute Inc. Cary, NC.

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

Su, G., Sorensen, P. and Kestin, S. C. 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.

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