

Manejo de sistemas productivos

Artículo de investigación científica y tecnológica

Caracterización multivariada de la faena en pollos para carne, criados bajo diferentes densidades de alojamiento

Multivariate Characterization of Slaughter in Broilers Raised Under Different Stocking Densities

 Eliana Gallard ^{1*}  Marcela Menichelli ^{1,2}  Ricardo Di Masso ²  Fernando Revidatti ³

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Reconquista, Argentina.

² Universidad Nacional de Rosario, Casilda, Argentina.

³ Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina.

*Autor de correspondencia: Eliana Gallard. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ruta nacional 11 km 773 - (3560), Reconquista, Argentina. gallard.eliana@inta.gob.ar

Recibido: 19 de abril de 2022
Aprobado: 02 de junio de 2023
Publicado: 23 de octubre de 2023

Para citar este artículo: Gallard, E., Menichelli, M., Di Masso, R., & Revidatti, F. (2023). Caracterización multivariada de la faena en pollos para carne, criados bajo diferentes densidades de alojamiento. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(3), e3004. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3004

Resumen: En la producción avícola intensiva, el manejo de la densidad de alojamiento en busca de mayor rentabilidad colisiona, en ocasiones, con el bienestar de las aves. El objetivo fue caracterizar, mediante un enfoque multivariado, fuentes de variancia para los caracteres productivos a la faena en machos y hembras de pollos para carne, bajo dos densidades de alojamiento: pollos Cobb de un día de edad se alojaron en lotes mixtos en galpones oscurecidos bajo dos densidades: estándar (14 pollos/m²) y reducida (12 pollos/m²). A los 41 días de edad, se faenó una muestra aleatoria de 30 aves de cada sexo y densidad, donde se evaluó: peso limpio (PL), rendimiento de la canal (RC), de pata-muslo (RPM), de pechuga (RP) y proporción de grasa abdominal (PG). Los datos se analizaron con la técnica multivariada de componentes principales y los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2) explicaron el 79 % de la variancia total de los datos en machos y el 81 % de los datos en hembras, donde CP1 se asoció principalmente con PL y RC y CP2 con RP, RPM y PG. Con mayor densidad se observó un mayor RC, debido, en parte, a la mayor PG acumulada en el abdomen, dado su crecimiento a un menor peso corporal atribuible a diferencias en el balance energético, lo cual permite incluir el análisis de la calidad de la canal como indicador de utilidad para adecuar la densidad a los requerimientos del mercado, en tanto, si bien su aumento se expresa a través de un mayor rendimiento, también implica un mayor contenido de grasa corporal.

Palabras clave: aves de corral, condiciones ambientales, producción industrial, rendimiento, tasa de crecimiento.

Abstract: In intensive poultry production, the management of stocking density to greater profitability collides, on occasions, with the welfare of birds. The aim was to characterize, by means of a multivariate approach, sources of variance for productive traits at slaughter in male and female broiler chickens, under two stocking densities. Day-old Cobb chickens were housed in mixed flocks in darkened houses under two densities: standard (14 chickens/m² = 29,000 birds) and reduced (12 chickens/m² = 25,000 birds). At 41 days of age, a random sample of 30 birds of each sex and density was slaughtered. Evaluated traits were: Clean weight (PL), carcass yield (RC), leg-thigh yield (RPM), breast yield (RP) and fat proportion (PG). Data were analyzed using the multivariate technique of principal components. The first two principal components (PC1 and PC2) explained 79% of the total variance of the data in males and 81% in females. CP1 was mainly associated with clean weight and carcass yield and CP2 with breast and leg-thigh yield and abdominal fat ratio. With higher density, higher carcass yield was observed, due, in part, to the higher proportion of abdominal fat, as this birds growth at a lower final weight, due to differences in energy balance. This allows including carcass quality analysis as a useful indicator to adapt the density to the market requirements, meanwhile, although its increase is expressed through greater performance, it also implies a higher body fat content.

Keywords: Environmental conditions, growth rate, industrial production, poultry, yield.



Introducción

En el pollo para carne, el PL de la canal y el rendimiento relativo de los diferentes cortes pueden verse afectados por factores genéticos como la estirpe, los procesos de mejora de la población y el sexo, además de factores asociados al manejo, entre los que se pueden señalar la alimentación, el sistema de producción, la densidad de alojamiento, la duración del ciclo, el tiempo de ayuno previo a la faena y la distancia de transporte de las aves desde la granja hasta el frigorífico (Benyi et al., 2015; Marapana, 2016).

La presión de selección, llevada a cabo sobre las variables de crecimiento y comportamentales en las estirpes modernas de pollos para carne, produjo respuestas correlacionadas en otros caracteres, entre las que se destaca el consumo voluntario de alimento (Mebratie et al., 2019; Peertile et al., 2014). Paralelamente, los ajustes en las normas generales de manejo y la mejora en las condiciones ambientales de alojamiento han reducido las necesidades energéticas para mantenimiento, lo que a su vez modificó sus requerimientos, en tanto afectaron el consumo de alimento, el comportamiento ingestivo, la tasa de crecimiento y la composición corporal (Maharjan et al., 2021; Karakaya et al., 2009; Zuidhof et al., 2014). La dinámica energética de las aves afecta, además, su composición corporal, así, la relación entre la cantidad total de proteína y lípidos depositados en la canal se encuentra influenciada por el menor grado de madurez de los pollos modernos al finalizar el ciclo (Baéza & Le Bihan-Duval, 2013), ello asociado a una menor edad al peso objetivo de faena, producto de su mayor velocidad de crecimiento. Por su parte, la tasa de crecimiento afecta la eficiencia en el uso de la energía, porque un pollo que alcanza más rápidamente el peso de faena asigna menos energía al mantenimiento de las funciones metabólicas no relacionadas directamente con el crecimiento (Tallentire et al., 2016).

La eficiencia en el uso de la energía y la tasa de crecimiento son, en consecuencia, caracteres compuestos altamente integrados, resultantes de múltiples aspectos biológicos subyacentes que incluyen el comportamiento, el apetito, la eficiencia digestiva, la síntesis de proteínas y lípidos y la actividad metabólica (Tallentire et al., 2018). Esta última comprende tanto las transformaciones bioquímicas intracelulares como aquellas relacionadas con la actividad física, el recambio proteico y el mantenimiento de sistemas energéticamente demandantes como el digestivo (Ekmay et al., 2013).

Si bien la respuesta a la selección por peso vivo y velocidad de crecimiento estuvo acompañada en sus primeras etapas por un aumento en el contenido de grasa corporal, las estirpes modernas han reducido significativamente la deposición de este componente de un 26,9 % a un 13-14,5 % (Túmová & Teimouri, 2010), porcentaje que depende de factores tales como la genética, el sexo, la edad de las aves, la alimentación y el manejo. Más allá de las evidencias que sugieren una tendencia de las aves modernas a ser más magras, la reducción de la actividad física derivada de su selección por comportamiento tranquilo, asociada a la menor disponibilidad de espacio, como consecuencia del aumento de la densidad de alojamiento (Riber et al., 2018), resultan en un animal fenotípicamente más graso (Wang et al., 2004).

El aumento de la densidad de alojamiento en la producción industrial de pollo para carne tiene por finalidad incrementar la cantidad de kilogramos obtenidos por unidad de superficie, aunque su efecto sobre el rendimiento y la calidad de la canal no ha sido determinado en forma

concluyente (Hassanein, 2011). El aumento en la densidad de alojamiento afecta adversamente la tasa de crecimiento debido, en parte, a que el aumento del número de aves disminuye el espacio disponible por animal y, por lo tanto, su acceso a los comederos y bebederos (Leone et al., 2010; Madilindi et al., 2018; Mitrović, 2010). Esta disminución en la tasa de crecimiento permite hipotetizar un descenso en el RC directamente proporcional, dentro de ciertos límites, a la reducción en el espacio disponible por animal (Jayalakshmi et al., 2009).

Sobre la base de que, en la producción avícola intensiva, el manejo de la densidad de alojamiento en busca de mayor rentabilidad colisiona, en ocasiones, con el bienestar de las aves, el objetivo de este trabajo fue caracterizar mediante un enfoque multivariado fuentes de variancia para los caracteres productivos a la faena en pollos de carne (machos y hembras), criados bajo dos densidades de alojamiento. De acuerdo con los antecedentes mencionados, se postula que la disminución de la densidad, a través de un efecto positivo sobre la tasa de crecimiento, producirá un aumento del rendimiento sin modificación significativa del aporte relativo de los cortes valiosos y la grasa a la faena.

Materiales y métodos

Ubicación

El trabajo se llevó a cabo durante el verano, en los meses de febrero y marzo, en una granja comercial en el área de influencia del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en Reconquista (Santa Fe, Argentina), ubicada a 28° 45' 11" latitud sur y 59° 28' 05" longitud oeste, donde un total de 54.000 pollos híbridos comerciales Cobb500® de un día de edad fueron alojados en lotes mixtos, en dos galpones oscurecidos de ventilación forzada tipo túnel de 14 × 150 metros. Allí se ensayaron dos densidades de alojamiento: densidad estándar (14 pollos/m² = 29.000 aves), habitualmente utilizada en la granja y densidad reducida (12 pollos/m² = 25.000 aves), la mínima admitida por la empresa.

Alimentación y manejo de las aves

Se aplicaron las normas generales de manejo (temperatura, humedad, iluminación, ventilación, plan sanitario, implementos y accesorios) de uso corriente para pollos para carne alojados en galpones a piso. El programa de alimentación incluyó cuatro dietas para todo el ciclo de producción, formuladas con materias primas convencionales (maíz y soja), presentadas en forma de *pellets* y ajustadas a la demanda de las aves según su edad: iniciador medicado (0-6 días), crecimiento (7-24 días), terminador (25-35 días) y terminador final broilers (36-42 días). El plan sanitario incluyó vacunaciones contra coccidiosis y enfermedad de Newcastle, bronquitis infecciosa por aspersión, enfermedad de Gumboro y enfermedad de Marek por vía subcutánea, las que se realizaron en la planta de incubación el día de nacimiento, previo a su traslado a la granja.

Proceso de faenado

Al final del ciclo (41 días de edad), se eligieron al azar 30 machos y 30 hembras de cada densidad. Las aves se pesaron con balanza digital con precisión de 0,5 g (WeiHeng 0-10 kg), se identificaron mediante la colocación de precintos numerados en una de sus patas, en las proximidades de la garra y se las alojó en jaulas plásticas para trasladarlas durante la noche a la planta de faena. Las jaulas marcadas se bajaron y fueron enviadas por la cinta transportadora hacia el área de colgado. Una vez dispuestas en la línea de transporte automática, las aves continuaron hacia la batea de insensibilización donde se procedió al aturdimiento mediante corriente eléctrica de bajo voltaje. Posteriormente, se sacrificaron de manera mecánica mediante la sección de los grandes vasos del cuello, se desangraron durante tres minutos, pasaron al área de escaldado y, a continuación, fueron desplumadas.

En la zona intermedia de la planta de faena se descolgaron de la línea, se cambió la localización de los precintos hacia el muslo y se colgaron nuevamente, de manera tal que siguieran en la línea hacia el corte de garras y al área de eviscerado. A continuación, permanecieron durante 50 minutos en el tanque de enfriamiento, se escurrieron y, colgadas nuevamente, continuaron hacia el área de trozado, donde se descolgaron, se pesaron en forma individual y se registró el PL en g con una balanza electrónica digital con precisión de 5 g (Kretz Report LT 15 kg). Acto seguido, se disecó el pániculo adiposo abdominal (PAA), el cual se pesó con balanza digital de *bowl* con aproximación al gramo (Aspen EK 3052), se separaron ambas pata-muslos (PPM) y ambas pechugas con hueso (PP) y se registró su peso en gramos con balanza digital con precisión de 5 g (Kretz Report LT 15 kg). A partir de los registros de peso, se calculó el RC [$RC (\%) = (PL / PC) \times 100$], de RPM [$RPM (\%) = (PPM / PL) \times 100$], de RP [$RP (\%) = (PP / PL) \times 100$] y la PG [$PG (\%) = (PAA / PL) \times 100$].

Análisis estadístico

Los datos de las variables dependientes se analizaron de forma conjunta y para cada sexo por separado, con la técnica multivariada de componentes principales (Carrasco & Hernán, 1993). Los valores de las dos primeras componentes principales (CP1 y CP2) se graficaron en un sistema de coordenadas cartesianas (X: CP1; Y: CP2) y se definieron cuatro cuadrantes numerados en sentido contrario a las agujas del reloj, donde se comenzó por el cuadrante superior derecho. La proporción de aves clasificadas por la densidad de alojamiento en los diferentes cuadrantes se evaluó con una prueba ji-cuadrado de homogeneidad.

El efecto del cuadrante de pertenencia sobre los caracteres a la faena se evaluó con un análisis de la variancia a un criterio de clasificación, seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, previa constatación del supuesto de normalidad con el test de Shapiro-Wilk. Con el objetivo de determinar la pertenencia de cada uno de los 120 casos originales, a uno u otro de los cuatro grupos preformados (machos bajo densidad estándar, machos bajo densidad reducida, hembras bajo densidad estándar y hembras bajo densidad reducida), en función de los caracteres productivos a la faena y cuantificar el peso de cada una de las variables del perfil en la discriminación, se implementó un análisis discriminante lineal.

Resultados y discusión

En comparación con los galpones convencionales, la cría de pollos de engorde en galpones de ambiente controlado mejora la producción de carne por metro cuadrado. Este aumento se relaciona principalmente con un mejor ajuste de las condiciones ambientales, de modo que la mayor ganancia de peso vivo y la menor tasa de mortalidad dan por resultado un mayor rendimiento de carne en kg/m², cuando se aplica una mayor densidad de alojamiento (Farhadi et al., 2016).

La tabla 1 resume el valor y el significado estadístico de las asociaciones entre los caracteres evaluados a la faena en machos y hembras, respectivamente.

Tabla 1. Matriz de correlaciones entre los caracteres productivos registrados a la faena en pollos Cobb500[®] según sexo

Machos					
	PL	RC	RPM	RP	GA
PL	1	0,709	0,363	0,555	0,336
RC	< 0,0001	1	0,596	0,629	0,355
RPM	0,004	< 0,0001	1	- 0,068	0,419
RP	< 0,0001	< 0,0001	0,607	1	- 0,022
GA	0,009	0,005	0,001	0,867	1
Hembras					
	PL	RC	RPM	RP	GA
PL	1	0,736	0,482	0,570	0,378
RC	< 0,0001	1	0,777	0,691	0,440
RPM	0,0001	< 0,0001	1	0,434	0,506
RP	< 0,0001	< 0,0001	0,0005	1	0,105
GA	0,003	0,0004	< 0,0001	0,426	1

Notas aclaratorias: encima de la diagonal principal: valores del coeficiente de correlación de Pearson y debajo de la diagonal principal: probabilidades asociadas (nivel de significado estadístico $p < 0,05$), PL: peso limpio (g), RC: rendimiento de la canal (%), RPM: rendimiento del corte pata-muslo (%), RP: rendimiento del corte pechuga con hueso (%) y GA: proporción de grasa abdominal (%).

Fuente: Elaboración propia

El PL se correlacionó de manera positiva con el resto de las variables en ambos sexos. La mayor asociación se observó con el RC, la cual fue significativa ($p < 0,0001$) y en orden decreciente y también significativas, el RP ($p < 0,0001$), el RPM ($p = 0,004$) y el porcentaje de grasa abdominal ($p = 0,009$). Además, el RC presentó en ambos sexos una alta correlación positiva y significativa en el rendimiento de los dos cortes de valor carnicero: RP y RPM ($p < 0,0001$) que, para ambos cortes, fue mayor en las hembras. La menor asociación se observó en el porcentaje de grasa que,

si bien fue significativa en ambos sexos: machos ($p = 0,0009$) y hembras ($p = 0,003$), presentó un mayor valor en las últimas. Por su parte, el RPM presentó una correlación positiva en el porcentaje de grasa abdominal, tanto en machos ($p = 0,001$) como en hembras ($p < 0,0001$) y mostró asociación positiva también en el RP en las hembras ($p = 0,0005$), pero no en los machos ($p = 0,607$). Así, el RP no mostró asociación con el porcentaje de grasa abdominal en ninguno de los sexos: $p = 0,867$ para machos y $p = 0,426$ para las hembras. Estas asociaciones ponen de manifiesto: (a) cierto nivel de independencia entre las proporciones de pechuga y pata-muslo; (b) la asociación de la proporción de pata-muslo con el porcentaje de grasa y (c) la ausencia de asociación entre la proporción de pechuga y la PG. A su vez, demuestran la pertinencia de la utilización del panículo adiposo abdominal como indicador del contenido de grasa corporal total (Fouad & El-Senousey, 2014) y la condición de la pechuga de ser un corte magro en comparación con la pata-muslo.

En coincidencia con estos hallazgos, Sam et al. (2019) informaron correlaciones positivas entre el peso de la canal y el peso de la pechuga y la pata-muslo en machos ($r = 0,728$ y $r = 0,704$) y también en hembras ($r = 0,692$ y $r = 0,695$), así como Deeb y Lamont (2002) y Shafey et al. (2013) reportaron una correlación positiva entre el contenido de grasa abdominal y el RPM.

La tabla 2 presenta la proporción de la variancia total explicada por cada uno de los cinco componentes, juntamente con la variancia acumulada y el coeficiente de correlación de Pearson entre cada variable y cada componente, en machos y hembras. Los dos primeros componentes principales explicaron el 79 % de la variancia acumulada de los datos correspondientes a los machos y el 81 % de los datos de las hembras. En el caso de los machos, el primer componente (CP1) se asoció positiva y significativamente ($p < 0,0001$) con todas las variables (PL: $r = 0,852$; RC: $r = 0,938$; RPM: $r = 0,633$; RP: $r = 0,610$; PG: $r = 0,526$), en particular con las dos variables cuantitativamente más importantes: PL y RC. En las hembras, la asociación entre CP1 y las variables evaluadas fue positiva (PL: $r = 0,819$; RC: $r = 0,948$; RPM: $r = 0,824$; RP: $r = 0,729$; PG: $r = 0,578$) y significativa ($p < 0,0001$), con valores mayores que los observados en los machos para los dos cortes de valor carnicero.

Dados los signos coincidentes de todas las correlaciones, CP1 representa un componente de comportamiento homogéneo en relación con el tamaño, ya que a mayor valor de este corresponden aves con mayor peso y mayor proporción de todos los componentes (componente tamaño). Las figuras 1 y 2 describen gráficamente el comportamiento de cada variable en el plano definido por los dos primeros componentes, en machos y hembras respectivamente.

Tabla 2. Proporción de la variancia total explicada por cada componente, variancia acumulada y coeficiente de correlación de Pearson entre cada variable y cada componente en machos y hembras

Machos					
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Variancia total explicada	53,1	25,8	12,5	6,7	1,9
Variancia acumulada (%)	53,1	78,9	91,4	98,1	100
PL	0,852	0,187	- 0,095	-0,479	0,012
RC	0,938	0,091	0,174	0,183	- 0,221
RPM	0,633	- 0,602	0,463	0,045	0,144
RP	0,610	0,733	- 0,100	0,236	0,158
PG	0,526	- 0,591	- 0,597	0,121	0,012
Hembras					
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Variancia total explicada	62,22	18,96	9,79	6,67	2,36
Variancia acumulada (%)	62,22	81,19	90,97	97,64	100
PL	0,819	- 0,156	0,469	- 0,276	0,098
RC	0,946	- 0,088	- 0,100	- 0,078	- 0,280
RPM	0,824	0,233	- 0,464	- 0,168	0,153
RP	0,729	- 0,561	- 0,035	0,383	0,081
PG	0,579	0,740	0,206	0,276	0,000

Fuente: Elaboración propia

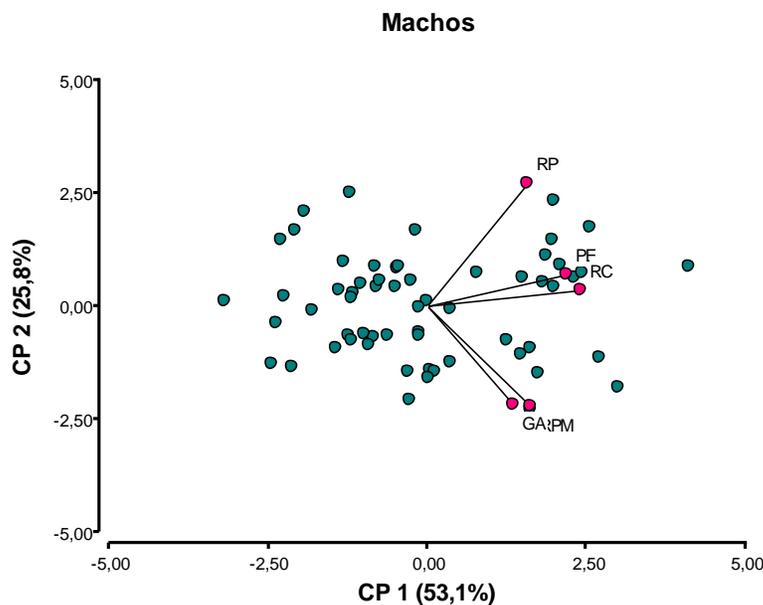


Figura 1. Biplot correspondiente al análisis de componentes principales en machos

Fuente: Elaboración propia

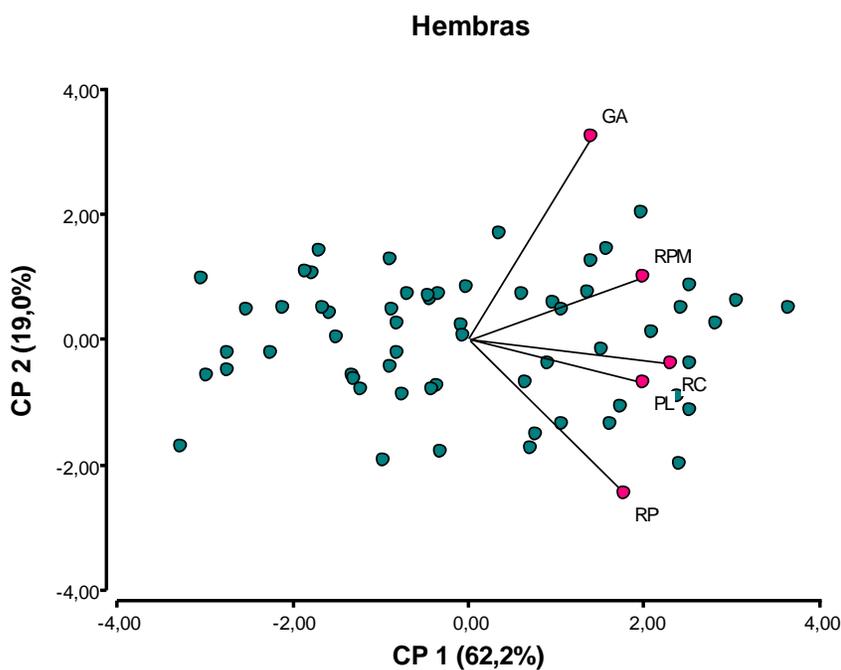


Figura 2. Biplot correspondiente al análisis de componentes principales en hembras
Fuente: Elaboración propia

El segundo componente (CP2) presentó un comportamiento diferente según el sexo. En los machos se asoció de forma negativa con el RPM (RPM: $r = -0,602$; $p < 0,0001$) y PG (PG : $r = -0,591$; $p < 0,0001$) y en forma positiva con el RP (RP: $r = 0,733$; $p < 0,0001$); mientras que en hembras se asoció de forma negativa con el RP (RP: $r = -0,561$; $p < 0,0001$), positiva con la PG (PG : $r = 0,740$; $p < 0,0001$) y también se observó una asociación positiva marginalmente significativa con el RPM (RPM: $r = 0,233$; $p = 0,073$). En consecuencia, en los machos, a mayor valor de este componente, independientemente del PL y del RC, corresponden con aves de mayor proporción de pechuga y menor proporción de pata-muslo y de grasa abdominal. En las hembras, se corresponde con aves de menor proporción de pechuga y mayor proporción de grasa abdominal (componente cortes).

La acumulación de cantidades excesivas de grasa abdominal es un carácter indeseable, porque implica una partición desfavorable de la energía destinada al crecimiento debido al mayor valor calórico de la ganancia de peso y un aumento de los requerimientos de energía, para un mantenimiento derivado de la mayor tasa metabólica del tejido adiposo, lo que representa, en términos económicos, un desperdicio de la energía ofrecida por la dieta, dado que la grasa abdominal no es aprovechada para el consumo humano (Jiang et al., 2017), en tanto que la grasa intramuscular puede considerarse favorable al relacionarse con la calidad de la carne (Wang et al., 2017).

La tabla 3 resume, para machos y hembras, la frecuencia relativa de aves en cada uno de los cuatro cuadrantes del plano cartesiano definido por los dos primeros componentes (X: CP1; Y: CP2).

Tabla 3. Proporción de pollos Cobb500® en los cuadrantes definidos por los componentes principales 1 (CP1) y 2 (CP2) y discriminados por el sexo y la densidad de alojamiento

Machos					
Densidad de Alojamiento	Cuadrante				Total
	I	II	III	IV	
Estándar	20,0	20,0	27,0	33,0	100
Reducida	20,0	46,7	27,0	6,3	100
Hembras					
Densidad de Alojamiento	Cuadrante				Total
	I	II	III	IV	
Estándar	43,3	16,7	10,0	30,0	100
Reducida	3,3	46,7	40,0	10,0	100

Fuente: Elaboración propia

Tanto en machos como en hembras, la distribución de las aves alojadas con diferente densidad no fue homogénea en los cuatro cuadrantes. En los machos, la comparación resultó significativa ($X^2 = 8,533$; $p = 0,04$), ya que las aves criadas con densidad reducida se ubicaron preferentemente en el cuadrante II, seguido por los cuadrantes III y I, con escasa participación en el cuadrante IV, mientras que aquellas criadas con densidad estándar presentaron una distribución más uniforme, con mayor participación en el cuadrante IV, seguidas por el cuadrante III y en iguales proporciones en los cuadrantes I y II. En las hembras, la mayor proporción de las aves criadas con densidad reducida se observó en los cuadrantes II y III, con una participación baja en los cuadrantes IV y I, mientras que, con densidad estándar, al cuadrante I le correspondió el mayor porcentaje de aves, seguido por el cuadrante IV, luego por el cuadrante II y con baja proporción en el cuadrante III ($X^2 = 22,95$; $p < 0,0001$).

La tabla 4 resume el efecto del cuadrante de pertenencia sobre los caracteres productivos evaluados a la faena en los machos. Las aves que ocuparon el cuadrante I serían las más adecuadas para una producción avícola intensiva, debido a que la combinación de valores positivos de ambas componentes determinó que presentan el mayor PL, el mayor RC y el mayor RP, acompañados de un RPM intermedio entre los correspondientes a los cuadrantes II y IV y similar al valor del cuadrante III. La PG, por su parte, se ubicó dentro de los valores esperables para este tipo de ave, siendo también intermedia respecto de los valores correspondientes a los cuadrantes II y IV y similar al valor de las aves ubicadas en el cuadrante III. A excepción de la PG y el RPM, las aves ubicadas en el cuadrante I se diferenciaron en todos los caracteres de aquellas presentes en los cuadrantes restantes. La proporción de aves en este cuadrante, criadas con densidad estándar o con densidad reducida, fue coincidente en los machos.

Las aves del cuadrante II, en el que predominaron aquellas alojadas con densidad reducida presentaron, comparativamente, un menor porcentaje de grasa abdominal, un menor PL y una menor proporción de pata-muslo con un elevado RP, estos dos últimos resultados en coincidencia con lo hallado por Cengiz et al. (2015), quienes trabajaron también con dos densidades de alojamiento. Estas aves representaron el mayor porcentaje de los machos y fueron similares en el peso eviscerado y el RC a las del cuadrante III, de las que se diferenciaron por el mayor RP, el menor RPM y por la tendencia a presentar menor contenido de grasa, además, las aves criadas con densidad estándar tendieron a predominar en el cuadrante IV, las cuales se caracterizaron por presentar el mayor RPM y la mayor PG, con valores intermedios de PL, RC y RP. Resultados similares fueron informados por Obeidat et al. (2019), quienes hallaron un mayor rendimiento a la faena en los pollos Ross 308, criados con una densidad de 18 aves/m², comparado con el rendimiento de los que se alojaron a razón de 12 aves/m², por lo que plantearon que aumentar la densidad de alojamiento podría ser beneficioso desde el punto de vista productivo, en tanto que Dos Santos Henrique et al. (2017) no observaron diferencias significativas en el RC, el RPM y el RP cuando trabajaron con densidades de alojamiento de 10, 12 y 14 aves m².

Tabla 4. Caracteres a la faena en pollos Cobb500[®] machos según su ubicación en los cuadrantes del plano cartesiano, definido por los dos primeros componentes principales

	Cuadrantes			
	Cuadrante I	Cuadrante II	Cuadrante III	Cuadrante IV
	CP1 > 0	CP1 < 0	CP1 < 0	CP1 > 0
	CP2 > 0	CP2 > 0	CP2 < 0	CP2 < 0
	N = 12	N = 21	N = 15	N = 12
Componente 1 (CP1)	2,141 a ± 0,2258	- 1,164 b ± 0,1874	- 1,062 b ± 0,2002	1,215 c ± 0,2983
Componente 2 (CP 2)	1,015 a ± 0,1672	0,8317 a ± 0,1531	-0,8333 b ± 0,1299	-1,290 b ± 0,1588
Peso corporal limpio (g)	2644 a ± 66,7	2211 b ± 35,1	2158 b ± 41,6	2422 c ± 45,3
RC (%)	78,92 a ± 0,432	71,06 b ± 0,626	71,15 b ± 0,552	75,89 c ± 0,796
RP (%)	29,01 a ± 0,296	26,13 b ± 0,309	23,69 c ± 0,292	25,17 b ± 0,297
RPM (%)	30,77 a ± 0,589	27,38 b ± 0,297	29,90 ac ± 0,430	32,61 ad ± 0,545
PG (%)	1,50 a ± 0,117	1,09 b ± 0,102	1,47 a ± 0,094	2,07 c ± 0,096

Nota aclaratoria: todos los valores corresponden a la media aritmética ± error estándar y a, b, c son valores con diferentes letras que difieren al menos al 0,05.

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 resume el efecto del cuadrante de pertenencia sobre los caracteres productivos a la faena en las hembras, donde aquellas presentes en los cuadrantes I y IV serían las más ventajosas. Los valores positivos y significativos de las componentes definen aves que, en el primer caso, registraron el mayor PL, el mayor RC y el mayor RPM, aunque también la mayor PG. Esta última característica es indeseable y se presentó en menor medida en las aves ubicadas en el cuadrante IV, que además tuvieron un mayor RP y un PL y RC similares a las del cuadrante I. Las aves ubicadas en el cuadrante I se diferenciaron de aquellas presentes en los cuadrantes II y III en todos los caracteres, a excepción del RP en este último. Tanto en el cuadrante I como en el IV, en los que se observaron valores más adecuados de los distintos caracteres (PL, RC, RP y RPM), predominaron las aves con densidad estándar.

Tabla 5. Caracteres a la faena en pollos Cobb500[®] hembras según su ubicación en los cuadrantes del plano cartesiano, definido por los dos primeros componentes principales

	Cuadrantes			
	Cuadrante I	Cuadrante II	Cuadrante III	Cuadrante IV
	CP1 > 0	CP1 < 0	CP1 < 0	CP1 > 0
	CP2 > 0	CP2 > 0	CP2 < 0	CP2 < 0
	N = 14	N = 19	N = 15	N = 12
Componente 1 (CP1)	1,861 a ± 0,2600	- 1,213 bc ± 0,2121	- 1,501 c ± 0,2674	1,583 a ± 0,2180
Componente 2 (CP 2)	0,860 a ± 0,1501	0,667 a ± 0,0894	-0,802 bd ± 0,1474	-1,057 cd ± 0,1661
Peso corporal limpio (g)	1926 a ± 34,03	1699 b ± 21,87	1703 b ± 36,82	1995 ac ± 33,31
RC (%)	75,10 a ± 0,854	67,44 b ± 0,559	65,95 b ± 0,622	74,94 ac ± 0,662
RP (%)	25,48 a ± 0,486	22,72 b ± 0,378	24,25 ac ± 0,625	28,08 d ± 0,353
RPM (%)	31,54 a ± 0,382	27,88 b ± 0,338	26,95 bc ± 0,429	29,64 d ± 0,512
PG (%)	2,36 a ± 0,086	1,78 b ± 0,078	1,02 c ± 0,084	1,55 bd ± 0,074

Nota aclaratoria: todos los valores corresponden a la media aritmética ± error estándar y a, b, c, d son valores con diferentes letras que difieren al menos al 0,05.

Fuente: Elaboración propia

La mayoría de las aves alojadas con densidad reducida y un escaso porcentaje de aquellas con densidad estándar, se ubicaron en los cuadrantes II y III. En estos cuadrantes se observaron aves con valores intermedios de PL que se diferenciaron de las ubicadas en los cuadrantes I y IV. Los cuadrantes II y III incluyeron aves similares entre sí y con un menor RC, respecto de los otros dos cuadrantes. El menor RP correspondió a las aves del cuadrante II, el que se diferenció del registrado en los cuadrantes restantes y el menor RPM correspondió a las aves de los cuadrantes II y III, con valores similares entre sí frente a los mayores valores de las aves en los cuadrantes I

y IV y el mayor porcentaje de grasa abdominal correspondió a las aves presentes en el cuadrante I. En estos cuadrantes se observaron valores intermedios de PL, que se diferenciaron de los de los cuadrantes I y IV, además, los cuadrantes II y III mostraron valores bajos y similares entre sí para el RC, que se diferenciaron de los observados en los cuadrantes I y IV, en los que fueron superiores. Por su parte, el RP fue el más bajo en el cuadrante II y se diferenció del registrado en el cuadrante III, el cual fue similar al del cuadrante I y superado por el del cuadrante IV. Por último, en los cuadrantes II y III se observaron los porcentajes más bajos, que fueron similares entre sí, de RPM seguidos por los valores de los cuadrantes IV y I que fueron más altos. Además, la PG registró los menores valores en los cuadrantes II, III y IV y el valor más alto en el cuadrante I. Si bien tanto el PL como el RC y de los cortes valiosos de las aves asignadas a los cuadrantes II y III fueron inferiores a las de los otros dos cuadrantes, la menor PG correspondió al cuadrante III, donde se ubicó el 40 % de las aves con densidad reducida.

La tabla 6 resume los resultados del análisis discriminante, la cual muestra la utilidad de los caracteres productivos a la faena para diferenciar a las aves de cada sexo y su densidad de alojamiento.

Tabla 6. Grupo original de pertenencia de cuatro categorías de pollos Cobb500® y grupo asignado por el análisis discriminante aplicado con base en variables productivas a la faena

Grupo de origen	Grupo asignado				Total
	ME	MR	HE	HR	
ME	23	4	1	2	30
MR	7	20	1	2	30
HE	0	0	27	3	30
HR	1	1	0	28	30
Total	31	25	29	35	120

Notas aclaratorias: ME: machos con densidad estándar, MR: machos con densidad reducida, HE: hembras con densidad estándar, HR: hembras con densidad reducida, número de aves mal clasificadas: 22 y proporción de aves mal clasificadas: $(22/120) \times 100 = 18,33\%$.

Fuente: Elaboración propia

El poder de discriminación fue mayor en el caso de las hembras, el 91,7 % (55/60) fue asignado al sexo correcto, frente al 71,7 % (43/60) en el caso de los machos. Las tres hembras criadas con densidad estándar que fueron mal asignadas se identificaron como hembras bajo densidad reducida. Por su parte, las dos hembras mal asignadas del grupo criado con densidad reducida no fueron identificadas como hembras, sino, una como macho criado bajo densidad estándar y la otra como macho criado bajo densidad reducida. El error de asignación de sexo en el caso de los machos fue el mismo en las dos categorías, tanto en el caso de los machos criados con densidad estándar como en los criados con densidad reducida, hubo tres identificados como hembras: uno criado bajo densidad estándar y dos criados bajo densidad reducida. Dentro de este sexo, el mayor error de asignación se observó en el caso de aquellos criados bajo densidad reducida, grupo en el que el 23,3 % (7/30) se asignó al grupo de machos con densidad estándar. En el caso de los machos bajo densidad estándar, el 13,3 % (4/30) se asignó al grupo del mismo

sexo, pero criado con densidad reducida. La figura 3 muestra la distribución de las aves de cada uno de los cuatro grupos experimentales en el plano cartesiano, definido por las dos primeras funciones discriminantes.

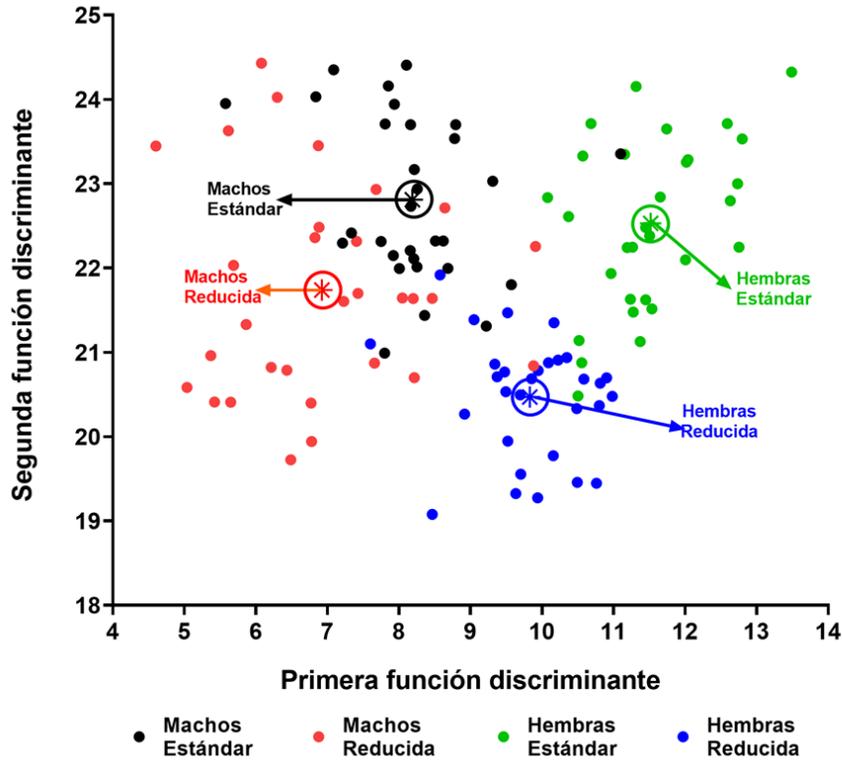


Figura 3. Discriminación de las aves de los cuatro grupos experimentales en función de los caracteres productivos a la faena

Fuente: Elaboración propia

Las dos primeras funciones discriminantes explicaron el 98,5 % de la variancia total (77,2 % y 21,3 %, respectivamente). La primera función discriminante se asoció de forma negativa con el PL ($r = -0,747$, $p < 0,0001$) y positiva con la PG ($r = 0,368$; $p < 0,0001$). La segunda función discriminante se asoció de forma positiva y significativa ($p < 0,0001$) con todas las variables: PL ($r = 0,625$), RC ($r = 0,982$), RPM ($r = 0,812$), RP ($r = 0,577$) y PG ($r = 0,352$); así, una porción importante del poder de discriminación puede atribuirse a las diferencias en el PL, en tanto su eliminación del análisis aumentó el error de asignación del 18,3 % al 48,3 %. Por su parte, las hembras se ubicaron a la derecha del plano ($< PL$ y $> PG$ abdominal) y las aves criadas con densidad estándar se ubicaron en la parte superior del plano ($>$ valor de todas las variables), con mayor diferencia en el caso de las hembras.

La realización del estudio en un establecimiento comercial limitó la posibilidad de evaluar diferencias mayores entre las densidades, aunque permitió conseguir información relevante acerca de los beneficios provenientes del empleo de una mayor densidad de alojamiento y su consecuente mejora en el rendimiento a la faena. Si bien estos rendimientos fueron más altos, también lo fue la PG en las canales de aves criadas con densidad estándar, por lo cual sería importante evaluar el contenido de grasa de forma cuantitativa en relación con la composición corporal, para distinguir las pérdidas que pudieran darse a nivel económico debido al exceso de grasa. De la misma manera, es necesario complementar los estudios relacionados con el crecimiento y el RC con los indicadores de bienestar animal que potencialmente son influidos por la disminución en la asignación del espacio por ave.

Conclusiones

Los resultados del presente estudio permiten arribar a las siguientes conclusiones:

- 1- Los pollos para carne alojados con densidad estándar crecen a un menor peso final y presentan un mayor RC, con valores más adecuados de RP y RPM.
- 2- El mayor rendimiento se debe, además, a la mayor PG acumulada en el abdomen, un carácter indeseable desde el punto de vista comercial, lo que indica diferencias marcadas en el balance energético a favor de las aves alojadas con mayor densidad.
- 3- La asociación existente entre la proporción de pata-muslo con el porcentaje de grasa demuestra la utilidad de la medición del acúmulo graso abdominal como indicador del contenido de grasa corporal total.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Nagi S. A., a sus trabajadores y a la integración avícola de la de la Unión Agrícola Avellaneda por facilitar que pudiéramos realizar este trabajo en sus instalaciones y por su buena disposición para la realización de nuestra tarea.

Contribución de los autores

Eliana Gallard: diseño de las metodologías, registro de la información en campo, construcción de las bases de datos, análisis de la información y elaboración del manuscrito; Marcela Menichelli: diseño de las metodologías y registro de la información en campo; Ricardo Di Masso: diseño de las metodologías, construcción de las bases de datos, análisis de la información y elaboración del manuscrito; Fernando Revidatti: diseño de las metodologías, análisis de la información y elaboración del manuscrito.

Implicaciones éticas

Los procedimientos vinculados con el presente artículo cuentan con el aval 18-001 emitido el 31 de julio del 2018 por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de Experimentación del Centro Regional Santa Fe, Argentina, dependiente del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. También se obtuvo el aval del Comité de Ética de la Investigación Científica, el Comité Institucional de Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio y por la Comisión de Bioseguridad de la Secretaría de Ciencia y Tecnología dependiente de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional del Rosario, bajo la Resolución de Consejo Directivo N° 104/18.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

Este trabajo se realizó con la financiación del Programa de formación de posgrado, bajo Resolución 230/2016 del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Ministerio de Agroindustria).

Referencias

- Baéza, E., & Le Bihan-Duval, E. (2013). Chicken lines divergent for low or high abdominal fat deposition: a relevant model to study the regulation of energy metabolism. *Animal*, 7(6), 965-973. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000153>
- Benyi, K., Tshilate, T. S., Netshipale, A. J., & Mahlako, K. T. (2015). Effects of genotype and sex on the growth performance and carcass characteristics of broiler chickens. *Tropical Animal Health and Production*, 47(7), 1225-1231. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0850-3>
- Carrasco, J. L., & Hernán, M. A. (1993). Estadística multivariante en las ciencias de la vida. *Ediciones Ciencia*, 3, 201-213. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=39659>
- Cengiz, Ö., Köksal, B. H., Tatlı, O., Sevim, Ö., Ahsan, U., Üner, A. G., Ulutaş, P. A., Beyaz, D., Büyükyörük, S., Yakan, A., & Önel, A. G. (2015). Effect of dietary probiotic and high stocking density on the performance, carcass yield, gut microflora, and stress indicators of broilers. *Poultry Science*, 94(10), 2395-2403. <https://doi.org/10.3382/ps/pev194>
- Deeb, N., & Lamont, S. J. (2002). Genetic architecture of growth and body composition in unique chicken populations. *Journal of Heredity*, 93(2), 107-118. <https://doi.org/10.1093/jhered/93.2.107>

- dos Santos Henrique, C., Oliveira, A. F., Ferreira, T. S., Silva, E. S., de Mello, B. F., de Freitas Andrade, A., da Silva Freitas Martins, V., de Paula, F. O., de Moraes García, E. R., & Bruno, L. D. (2017). Effect of stocking density on performance, carcass yield, productivity, and bone development in broiler chickens Cobb500®. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(4), 2705-2717. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4Supl1p2705>
- Ekmay, R. D., Salas, C., England, J., Cerrate, S., & Coon, C. N. (2013). The effects of age, energy and protein intake on protein turnover and the expression of proteolysis-related genes in the broiler breeder hen. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 164(1), 38-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpb.2012.10.002>
- Farhadi, D., Hosseini, S. M., & Dezfuli, B. T. (2016). Effect of house type on growth performance, litter quality and incidence of foot lesions in broiler chickens reared in varying stocking density. *Journal of BioScience & Biotechnology*, 5(1), 69-78. <https://doaj.org/article/43d702dbf7bf4c6e97e602abbf1fc0eb>
- Fouad, A. M., & El-Senousey, H. K. (2014). Nutritional factors affecting abdominal fat deposition in poultry: a review. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27(7), 1057-1068. <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.2013.13702>
- Jayalakshmi, T., Kumararaj, R., Sivakumar, T., Vanan, T. T., & Thiagarajan, D. (2009). Influence of stocking densities on litter moisture, microbial load, air ammonia concentration and broiler performance. *Tamilnadu Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 5(3), 80-86. https://www.researchgate.net/profile/T_Sivakumar2/publication/273127983_Influence_of_stocking_densities_on_litter_moisture_microbial_load_and_air_ammonia_concentration_and_broiler_performance/links/54f842810cf2ccffe9ddc8f1/Influence-of-stocking-densities-on-litter-moisture-microbial-load-and-air-ammonia-concentration-and-broiler-performance.pdf
- Jiang, M., Fan, W. L., Xing, S. Y., Wang, J., Li, P., Liu, R. R., Li, Q. H., Zheng, M. Q., Cui, H. X., Wen, J., & Zhao, G. P. (2017). Effects of balanced selection for intramuscular fat and abdominal fat percentage and estimates of genetic parameters. *Poultry Science*, 96(2), 282-287. <https://doi.org/10.3382/ps/pew334>
- Hassanein, H. H. (2011). Growth performance and carcass yield of broilers as affected by stocking density and enzymatic growth promoters. *Asian Journal of Poultry Science*, 5(2), 94-101. <https://doi.org/10.3923/ajpsaj.2011.94.101>
- Karakaya, M., Parlat, S. S., Yilmaz, M. T., Yildirim, I., & Ozalp, B. (2009). Growth performance and quality properties of meat from broiler chickens reared under different monochromatic light sources. *British Poultry Science*, 50(1), 76-82. <https://doi.org/10.1080/00071660802629571>
- Leone, E. H., Christman, M. C., Douglass, L., & Estevez, I. (2010). Separating the impact of group size, density, and enclosure size on broiler movement and space use at a decreasing perimeter to area ratio. *Behavioural Processes*, 83(1), 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2009.08.009>
- Madilindi, M. A., Mokobane, A., Letwaba, P. B., Tshilate, T. S., Banga, C. B., Rambau, M. D., Bhebhe, E., & Benyi, K. (2018). Effects of sex and stocking density on the performance of broiler chickens in a sub-tropical environment. *South African Journal of Animal Science*, 48(3), 459-468. <http://dx.doi.org/10.4314/sajas.v48i3.6>
- Maharjan, P., Martinez, D. A., Weil, J., Suesuttajit, N., Umberson, C., Mullenix, G., Hilton, K. M., Beitia, A., & Coon, C. N. (2021). Physiological growth trend of current meat broilers

- and dietary protein and energy management approaches for sustainable broiler production. *Animal*, 15, 100284.
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100284>
- Marapana, R. A. (2016). Effect of different dress weight categories on yield part percentage and relationship of live and dress weight of broiler carcasses slaughter at different conditions. *Journal of food science and technology Nepal*, 9, 31-38.
<https://doi.org/10.3126/jfstn.v9i0.14760>
- Mebratie, W., Madsen, P., Hawken, R., Romé, H., Marois, D., Henshall, J., Bovenhuis, H., & Jensen, J. (2019). Genetic parameters for body weight and different definitions of residual feed intake in broiler chickens. *Genetics Selection Evolution*, 51(1), 1-12.
<https://doi.org/10.1186/s12711-019-0494-2>
- Mitrović, S. (2010). The influence of population density and duration of breeding on broiler chickens productivity and profitability. *African Journal of Biotechnology*, 9(28), 4486-4490.
<https://www.researchgate.net/publication/296837019> The influence of population density and duration of breeding on broiler chickens productivity and profitability
- Obeidat, M. D., Al-Tamimi, H., Nusairat, B., & Obeidat, B. S. (2019). *Effect of breed and density on growth performance and carcass traits of two broiler breeds*. International Congress on Agriculture and Forestry research.
<https://www.researchgate.net/publication/332408144> Effect of breed and density on growth performance and carcass traits of two broiler breeds
- Peertile, S. F., Zampar, A., Petrini, J., Gaya, L. D., Rovadoscki, G. A., Ramírez-Díaz, J., Ferraz, J. B., Michelan Filho, T., & Mourão, G. B. (2014). Correlated responses and genetic parameters for performance and carcass traits in a broiler line. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 15, 1006-1016. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402014000400008>
- Sam, I. M., Essien, C. A., Ukpanah, U. A., & Ekpo, J. S. (2019). Influence of Sex on Relationship Between Morphometric Trait Measurement and Carcass Traits in Broiler Chicken Raised in Humid Tropic. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 18(11).
<http://dx.doi.org/10.36478/javaa.2019.309.314>
- Shafey, T. M., Alodan, M. A., Hussein, E. O., & Al-Batshan, H. A. (2013). The effect of sex on the accuracy of predicting carcass composition of Ross broiler chickens. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 23(4), 975-980.
<https://www.researchgate.net/publication/270580116> The effect of sex on the accuracy of predicting carcass composition of Ross broiler chickens
- Tallentire, C. W., Leinonen, I., & Kyriazakis, I. (2018). Artificial selection for improved energy efficiency is reaching its limits in broiler chickens. *Scientific reports*, 8(1), 1168.
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-19231-2>
- Tallentire, C. W., Leinonen, I., & Kyriazakis, I. (2016). Breeding for efficiency in the broiler chicken: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 1-16.
<https://doi.org/10.1007/s13593-016-0398-2>
- Tůmová, E., & Teimouri, A. J. (2010). Fat deposition in the broiler chicken: a review. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 41(2), 121-128.
<https://www.researchgate.net/publication/309770077> FAT DEPOSITION IN THE BROILER CHICKEN A REVIEW

- Riber, A. B., Van De Weerd, H. A., De Jong, I. C., & Steinfeldt, S. (2018). Review of environmental enrichment for broiler chickens. *Poultry science*, *97*(2), 378-396. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex344>
- Wang, Y. Q., Thomas, B., Ghebremeskel, K., & Crawford, M. A. (2004). *Changes in protein and fat balance of some primary foods: implications for obesity*. 6th Congress of the International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids, Brighton, Reino Unido.
- Wang, G., Kim, W. K., Cline, M. A., & Gilbert, E. R. (2017). Factors affecting adipose tissue development in chickens: a review. *Poultry Science*, *96*(10), 3687-3699. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex184>
- Zuidhof, M. J., Schneider, B. L., Carney, V. L., Korver, D. R., & Robinson, F. E. (2014). Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poultry Science*, *93*(12), 2970-2982. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>