



¿PUEDEN LAS MEDIDAS OSTEOMÉTRICAS PREDECIR EL PESO VIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN CONEJOS NUEVA ZELANDA BLANCA EN CRECIMIENTO? †

[CAN OSTEO METRIC MEASUREMENTS PREDICT LIVE WEIGHT AND CARCASS CHARACTERISTICS IN GROWING NEW ZEALAND WHITE RABBITS?]

T. A. Arbez-Abnal¹, J. R. Sanginés-García¹, A. T. Piñeiro-Vazquez¹, E. Aguilar-Urquizo¹ and A. J. Chay-Canul^{2*}

¹Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345.

²División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carr. Villahermosa-Teapa, km 25, CP 86280. Villahermosa, Tabasco, México. Email: alfonso.chay@ujat.mx

* Corresponding author

SUMMARY

Background: The identification of the relationship between the particular traits of the body development of the rabbit could help the understanding of the biological growth and the application in different areas of livestock and veterinary study. **Objective.** To evaluate the relationship between osteometry of the limbs, live weight (LW), hot carcass weight (HCW) and anatomical cuts; and generate equations to predict PV, PCC and anatomical cuts in New Zealand White (NZW) rabbits at different ages. **Methodology.** A total of 113 rabbits of seven different ages (9, 11, 14, 17, 20, 24 and 28 weeks) were used. The data obtained were LW, carcass characteristics: PCC and anatomical cuts (front, middle and back); and osteometry: length and diameter of the humerus (LH and DH), radio-ulna (LR-C and DR-C), femur (LF and DF) and tibia-fibula (LT-P and DT-P). The information was analyzed using Pearson's correlation coefficients (r) and linear and multiple regression models. The accuracy of the models was evaluated using the coefficients of determination (r^2) and the square root of the mean square error (RCCME). **Results.** The correlations expressed between LW, carcass characteristics and bone lengths were higher ($r=0.90-0.95$; $p < 0.0001$) compared to diameters ($r=0.38-0.72$; $p < 0.0001$). The regression equations for PV had a RCCME that varied from 186.86 to 197.70 g using LR-C and LF. While for the PCC it presented RCCME from 130.4 to 138.58 g with LH, LR-C and DH. Regarding the anatomical cuts, the progressive order of rear, middle and front using LF and LH was RCCME= 21.66 to 25.67. The LF and LH explained 92 and 91% of the variation of the PV and PCC, although it decreased slightly in the anatomical cuts from 85 to 92%. **Implications.** The osteometry of the extremities reflects security in the application of equations to calculate general and particular data of body mass in the rabbit, this contribution of knowledge can be extrapolated for animal production and forensic veterinary studies. **Conclusion.** The close associations obtained between limb lengths (exception LT-P) with PV, PCC and anatomical cuts gave equations with high capacity to estimate these body changes of growing NZB rabbits.

Key words: Body weight; Anatomical cuts; Anterior-posterior extremities; Prediction equations; Estimate.

RESUMEN

Antecedentes: La identificación de la relación entre los rasgos particulares del desarrollo corporal del conejo podría ayudar al entendimiento del crecimiento biológico y la aplicación en diferentes áreas de estudio pecuaria y veterinaria. **Objetivo.** Evaluar la relación entre osteometría de las extremidades, peso vivo (PV), peso de la canal caliente (PCC) y cortes anatómicos; y generar ecuaciones para predecir PV, PCC y cortes anatómicos en conejos Nueva Zelanda Blanca (NZB) a diferentes edades. **Metodología.** Se utilizaron un total de 113 conejos de siete edades diferentes (9, 11, 14, 17, 20, 24 y 28 semanas). Los datos obtenidos fueron PV, características de la canal: PCC y cortes anatómicos (parte delantera, intermedia y trasera); y osteometría: longitud y diámetro del húmero (LH y DH), radio-cúbito (LR-C y DR-C), fémur (LF y DF) y tibia-peroné (LT-P y DT-P). La información se analizó por medio de los coeficientes de correlación de Pearson (r) y por modelos de regresión lineal y múltiple. La precisión de los modelos se evaluó mediante los coeficientes de determinación (r^2) y la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RCCME). **Resultados.** Las correlaciones

† Submitted February 14, 2022 – Accepted August 8, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4241>



expresadas entre PV, características de la canal y las longitudes de huesos fueron mayores ($r = 0.90 - 0.95$; $p = < 0.0001$) comparado con los diámetros ($r = 0.38 - 0.72$; $p = < 0.0001$). Las ecuaciones de regresión para PV tuvieron un RCCME que vario de 186.86 a 197.70 g utilizando LR-C y LF. Mientras para el PCC presentó RCCME de 130.4 a 138.58 g con LH, LR-C y DH. Con respecto a los cortes anatómicos, el orden progresivo se presenta de la siguiente manera: parte trasera, intermedia y delantera utilizando LF y LH fue RCCME = 21.66 a 25.67. La LF y LH explicaron el 92 y 91 % de la variación del PV y PCC, aunque disminuyó ligeramente en los cortes anatómicos de 85 a 92 %.

Implicaciones. La osteometría de las extremidades refleja seguridad en la aplicación de ecuaciones para calcular datos generales y particulares de masa corporal en el conejo, este aporte de conocimiento se puede extrapolar para estudios de producción animal y veterinaria forense.

Conclusión. Las estrechas asociaciones obtenidas entre longitudes de extremidades (excepción LT-P) con el PV, PCC y cortes anatómicos dieron ecuaciones con alta capacidad de precisión para estimar dichos cambios corporales del conejo NZB en crecimiento.

Palabras claves: Peso corporal; Cortes anatómicos; Extremidades anteriores-posteriores; Ecuaciones de predicción; Estimar.

INTRODUCCIÓN

El conejo está distribuido por todo el mundo y su importancia radica en varias ramas de estudios, desde arqueo-zoología, biología, ganadería hasta medicina. En el continente americano, la producción cunícola de la raza Nueva Zelanda Blanca de talla mediana, se sitúa principalmente para fines biomédicos y cárnicos, debido a su fácil manipulación, aceptable tolerancia ambiental, alta prolificidad y buena conversión alimenticia (Cheeke, 1986; Willett *et al.*, 2011; Naff y Craig, 2012). Por ello, la generación de información detallada sobre su crecimiento, cambios anatómicos y morfológicos, es de vital importancia para ambos campos (Martiniaková *et al.*, 2008; Dalle Zotte y Szendrő, 2011).

De manera biológica, la masa y tamaño corporal del individuo se define a través del conjunto de cambios graduales de las estructuras tisulares, órganos y regiones anatómicas que se expresan a través del tiempo. En este sentido, el primer orden de la escala de crecimiento tisular post-neonatal es el “esqueleto” conformado por tejido óseo, que tiene como principal función dar forma, firmeza y sostén al cuerpo (Trbojević-Vukičević *et al.*, 2012; Dalle-Zotte y Paci, 2014). Dicho cambio óseo, se aprecia macroscópicamente con el aumento longitudinal, diametral y circunferencial de los huesos que permiten soportar los pesos subsecuentes de tejidos (muscular y adiposo) y órganos que a medida se expande en el animal (Zoetis *et al.*, 2003; Ince *et al.*, 2017). En el conejo, estas características de crecimiento dimensional de los huesos, se comienzan a estabilizar entre seis a ocho meses de edad (Masoud *et al.*, 1986; Zoetis *et al.*, 2003; Willett *et al.*, 2011). No obstante, tales variaciones pueden ser afectadas por factores como la edad, raza, etapa fisiológica, sexo, alimentación y clima (Yalçın *et al.*, 2006; Martiniaková *et al.*, 2008; El-Kady *et al.*, 2021; Brahmantiyo *et al.*, 2021).

La osteología en el conejo, se ha dirigido principalmente a tratar deficiencias nutricionales (Cardinali *et al.*, 2015), dosis farmacológicas (Gafni *et al.*, 2001; Willett *et al.*, 2011), confort animal (Buijs *et al.*, 2012; Matics *et al.*, 2018) y mejoramiento genético (Xiccato *et al.*, 2013; Croda-Andrade *et al.*, 2022). Este último, con la finalidad de potencializar la producción de carne para fines pecuarios (Michalik *et al.*, 2006; Ince *et al.*, 2017; Croda-Andrade *et al.*, 2022). Más allá de esto, los huesos guardan información proveniente de las particularidades generales del individuo (taxonomía, edad, sexo, enfermedades, peso corporal, etc.). Por ello, las medidas óseas se han empleado en otros estudios como tipificación de especies vertebradas nuevas y extintas (Onar, 2005; Trbojević-Vukičević *et al.*, 2012; Ince *et al.*, 2017); y actualmente este conocimiento se está introduciendo con mayor interés en la medicina veterinaria forense (Ubelaker, 2014; Nganvongpanit *et al.*, 2016; Smith-Blackmore y Bethard, 2021).

Ante tales aspectos, se contemplan estudios sobre las mediciones óseas como predictores del peso corporal y canal en especies como ovejas (Alpak *et al.*, 2009), venados (Trbojević-Vukičević *et al.*, 2012), vacas (Ince *et al.*, 2017) y perros (Onar, 2005). Lo cual, sobresale el uso de los huesos largos que demuestran buena capacidad predictiva (Alpak *et al.*, 2009; Trbojević-Vukičević *et al.*, 2012). A pesar, que el conejo es un modelo bioterio, se desconoce la información del uso de mediciones osteométricas para estimar dichas dimensiones corporales. Por tal motivo, el objetivo fue formular ecuaciones mediante medidas en huesos de las extremidades capaces de estimar el peso total y particular del cuerpo del conejo NZB; y con ello entregar herramientas para estudios en el área pecuaria y veterinaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en la unidad experimental cunícola del Instituto Tecnológico de

Conkal, Yucatán, México; localizada en una región tropical subhúmeda a 21° 05' LN y 89° 32' LO, a 8 msnm con una temperatura promedio anual y precipitación pluvial de 26°C/1000 mm (García, 1981). Se consideraron en total 113 conejos sanos en crecimiento (57 hembras/56 machos) de la raza Nueva Zelanda Blanca (NZB), asignados individualmente en jaulas elevadas con dimensiones de 45 × 30 × 40 cm, bajo condiciones de iluminación y ventilación natural. Se suministró *ad libitum* agua y alimento comercial peletizado con las siguientes características nutricionales: 88 % materia seca, 17 % proteína cruda, 11 % fibra cruda, 2 % grasa % y 11 % cenizas.

Sacrificio

Los animales ayunaron (12 h antes del sacrificio) y pesaron con una báscula digital Rhino® (BAPO-10; China) con capacidad de 10 kg y precisión 1 g. Se sacrificaron en grupos de 8 hembras y 8 machos en siete diferentes edades y pesos vivos (PV) promedios: 63 d = 1070 ± 180 g; 77 d = 1516 ± 242 g; 98 d = 1861 ± 263 g; 119 d = 2243 ± 152 g; 140 d = 2487 ± 209 g; 168 d = 2759 ± 390 g y 196 d = 2939 ± 366 g. El sacrificio se realizó siguiendo la norma oficial mexicana (NOM-033-SAG/ZOO-2014). Después se exanguinaron mediante el corte de las venas yugulares y arterias carótidas para separar la cabeza, patas, cola y piel. Se evisceraron y registró el peso canal caliente (PCC). Seguidamente la canal se almacenó a 3 °C ± 1 °C durante 24 horas y posteriormente, la canal se dividió en dos partes similares a través de la línea media dorsal y a partir de la media canal izquierda se separó en tres partes anatómicas y determinó los pesos: parte delantera (PD), parte intermedia (PI) y parte trasera (PT) según lo establecido por Blasco y Ouhayoun (1996). Luego se deshuesó y se tomaron los siguientes miembros óseos de la extremidad anterior: húmero y radio-cúbito; y posterior: fémur y tibia-peroné para ser medidos de manera longitudinal: a través de la distancia entre los epífisis proximales y distales; y diametral: correspondiente al ancho de la diáfisis media localizado en el punto de rotura, para esto se utilizó un calibrador digital Truper® (CALDI-6MP:14388; Estados Unidos) con capacidad de 150 mm y precisión 0.01 mm.

Para la realización del presente experimento se tomó en consideración la guía de legislación actual y recomendaciones sobre “Principios de cuidado ético, directrices y códigos de prácticas para animales utilizados en trabajos experimentales” de la Norma Oficial Mexicana, NOM-062-ZOO-1999. La aprobación del experimento fue realizada por el “Comité de uso y bienestar de animales

experimentales” del Instituto Tecnológico de Conkal (ID Project ITC: MX-ITC-002522).

Análisis Estadístico

La estadística descriptiva, se realizó para todas las variables evaluadas utilizando el PROC MEANS del paquete SAS versión 9.0. Además, los datos osteométricos acumulativos de los diferentes sacrificios se incluyó con sus respectivas medias y desviación estándar mediante ilustraciones gráficas (Figura 1 y 2). La relación entre el PV, PCC, PD, PI, PT y la longitud y diámetro del humero (LH) y (DH); radio-cúbito (LR-C) y (DR-C); fémur (LF) y (DF) y tibia-peroné (LT-P) y (DT-P), se evaluó por medio de los coeficientes de correlación de Pearson y por modelos de regresión lineal y múltiple utilizando el procedimiento CORR y REG del paquete estadístico respectivamente. Se seleccionó las variables a través de Stepwise y Cp de Mallow. Para identificar y eliminar los datos atípicos se incluyó un análisis de residuos. La precisión de los modelos se evaluó mediante los coeficientes de determinación (r^2) y la raíz cuadrática del cuadrado medio del error (RCCME).

RESULTADOS

Rasgos del PV, PCC y medidas osteométricas

En la tabla 1, se presentan los rangos generales del PV, características de la canal y osteometría del conejo NZB en crecimiento. El intervalo mínimo y máximo del PV y PCC comprende de 0.8 a 3.5 y 0.36 a 2.2 kg con un rendimiento de la canal promedio de 55.7 % (dato no incluido en el estudio). Los pesos de los cortes anatómicos, conllevan proporciones como mínimo y máximo de la parte delantera de 38.18 a 39.24 %, intermedia 22.42 a 24.38 % y trasera 39.39 a 36.37 % representativo al PCC. Con respecto a osteometría, se tiene como mínimo y máximo en la longitud del húmero 4.8 a 8.1 cm, y el diámetro 0.4 a 0.6 cm. Para la longitud radio-cúbito fue de 5.4 a 8.8 cm y el diámetro 0.3 a 0.6 cm. En cuanto a huesos de la extremidad posterior, el fémur varió de longitud de 6.3 a 10.2 cm y el diámetro 0.5 a 0.8 cm. La tibia-peroné presentó longitud 6.8 a 11.4 cm y el diámetro 0.4 a 0.6 cm. Se observa con mayor claridad las distribuciones de crecimientos de las longitudes y diámetros óseos por grupos sacrificados en la figura 1 y 2. En general los huesos de la extremidad posterior (F y T-P) fueron un 22.4 % más largos con respecto a los de la extremidad anterior (LH y LR-C). El grosor del fémur fue 25.75 % mayor que húmero y tibia-peroné fue 4.25 % mayor que radio-cúbito.

Tabla 1. Estadística descriptiva del conjunto de datos de conejos NBZ en crecimiento (n= 113).

Características	Promedio \pm DE	Mínimo	Máximo	Coef. Varia. (%)
PV (g)	2132 \pm 686	809	3494	32.2
PCC (g)	1219 \pm 473	361	2210	38.8
PD (g)	210 \pm 80	63	396	38.1
PI (g)	141 \pm 57	37	246	40.4
PT (g)	212 \pm 76	65	367	35.8
LH (cm)	6.63 \pm 0.83	4.80	8.10	12.5
LR-C (cm)	7.26 \pm 0.93	5.40	8.80	12.8
LF (cm)	8.41 \pm 1.01	6.30	10.20	12.0
LT-P (cm)	9.48 \pm 1.24	6.80	11.40	13.1
DH (cm)	0.49 \pm 0.05	0.40	0.60	10.2
DR-C (cm)	0.45 \pm 0.06	0.30	0.60	13.3
DF (cm)	0.66 \pm 0.06	0.50	0.80	9.1
DT-P (cm)	0.47 \pm 0.05	0.40	0.60	10.6

DE: Desviación estándar; PV: peso vivo; PCC: peso de la canal caliente; PD: parte delantera; PI: parte intermedia; PT: parte trasera; LH: longitud húmero; LR-C: longitud radio-cúbito; LF: longitud fémur; LT-P: longitud tibia-peroné; DH: diámetro húmero; DR-C: diámetro radio-cúbito; DF: diámetro fémur; DT-P: diámetro tibia-peroné.

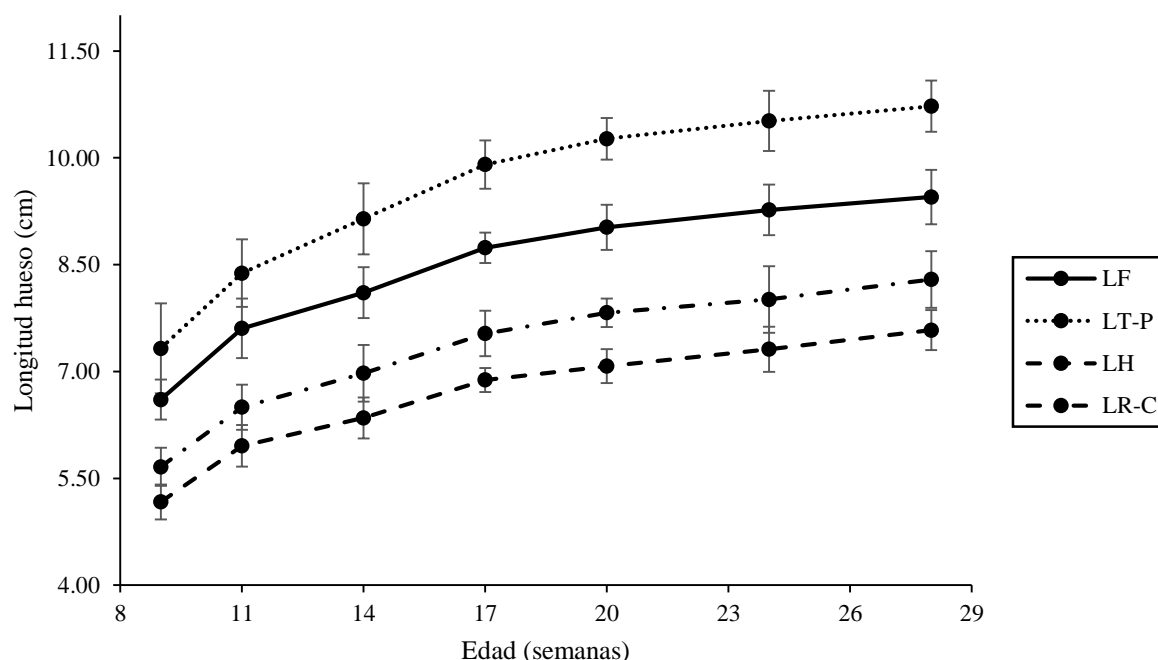


Figura 1. Distribución de promedios longitudinales de huesos de extremidades anteriores y posteriores con desviación estándar del conejo NZB sacrificados.

Coefficientes de correlación

Las longitudes de los huesos largos tuvieron correlaciones altas, positivas y significativas con el PV y PCC ($p < 0.0001$, tabla 2). A excepción del LT-P (0.93), las longitudes óseas mostraron una similar correlación (0.95) para los pesos corporales (PV y PCC). Asimismo, las correlaciones de LF y LH mostraron altos valores de correlación (0.94, 0.92 y 0.95) entre los cortes anatómicos (PD, PI y

PT), mientras ligeramente varió con LT-P y LR-C (0.90 a 0.94). Esto demuestra que el crecimiento longitudinal del fémur y húmero son fuertemente influenciada por el aumento del peso de cualquiera de las partes anatómicas. Para el DH y DR-C presentaron moderadas correlaciones (0.62 y 0.72); y el DF y DT-P bajas correlaciones (0.44 a 0.51) con el PV y PCC respectivamente. Situación parecida con DH y DR-C (0.57 a 0.72); y el DF y DT-P (0.38 a 0.49) entre los cortes anatómicos.

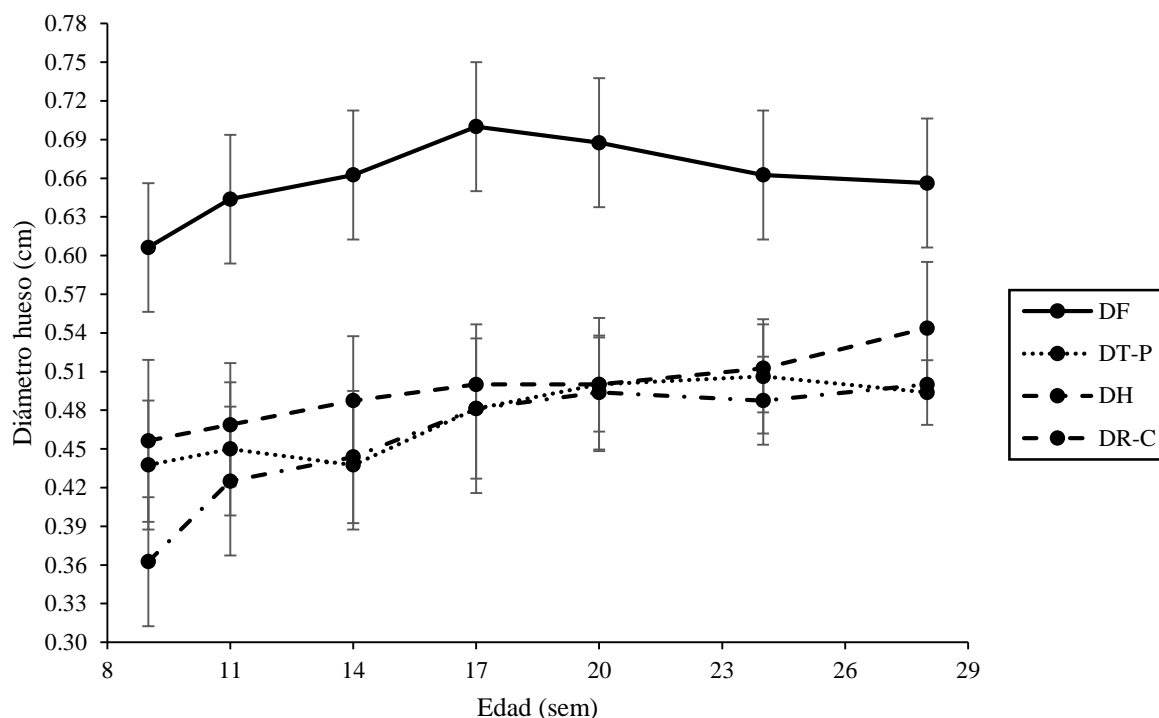


Figura 2. Distribución de promedios diametrales de huesos de extremidades anteriores y posteriores con desviación estándar del conejo NZB sacrificados.

Tabla 2. Coeficiente de correlaciones entre el peso vivo, características de la canal y mediciones óseas de conejos NBZ en crecimiento.

	PCC	PD	PI	PT	LF	LT-P	LH	LR-C	DF	DT-P	DH	DR-C
PV	0.98	0.97	0.94	0.97	0.95	0.93	0.95	0.95	0.47	0.51	0.62	0.72
PCC		0.98	0.96	0.98	0.95	0.93	0.95	0.95	0.44	0.47	0.62	0.72
PD			0.93	0.96	0.94	0.92	0.94	0.94	0.44	0.47	0.62	0.71
PI				0.94	0.92	0.90	0.92	0.91	0.38	0.45	0.57	0.70
PT					0.95	0.93	0.95	0.94	0.45	0.49	0.61	0.72
LF						0.97	0.98	0.97	0.47	0.49	0.60	0.75
LT-P							0.96	0.95	0.48	0.46	0.61	0.76
LH								0.97	0.44	0.47	0.58	0.77
LR-C									0.44	0.48	0.59	0.76
DF										0.39	0.47	0.40
DT-P											0.33**	0.44
DH												0.46

PV: peso vivo; PCC: peso de la canal caliente; PD: parte delantera; PI: parte intermedia; PT: parte trasera; LH: longitud húmero; LR-C: longitud radio-cúbito; LF: longitud fémur; LT-P: longitud tibia-peroné; DH: diámetro húmero; DR-C: diámetro radio-cúbito; DF: diámetro fémur; DT-P: diámetro tibia-peroné. Los valores representados en las columnas que no presentan superíndice demuestran $p < 0.0001$; y los superíndices de ** son igual a $p < 0.001$.

Ecuaciones de predicción

Se generaron ocho ecuaciones de regresión entre el PV, PCC, PD, PI, PT mediante las medidas osteométricas ($p = < 0.0001$), ver tabla 3. Para predecir el PV se utilizó la LF (Ecuación 1) que contribuyó a explicar 92 % de variación y presentó un error de predicción de 197 g. Sin embargo, al incluir LR-C (Ecuación 2) aumentó una unidad del r^2 y el valor de error redujo un 5.48 %. Para calcular el PCC se consideró la LH (Ecuación 3)

que explica el 91 % de variación y presenta un error de predicción de 138 g; pero al anexas LR-C y DH incrementa hasta dos unidades de r^2 con disminución del error de 4.05 y 5.90 % (Ecuación 4 y 5). En cuanto a la predicción de los cortes PD y PT se tomó en consideración solamente la LF con un 90 y 92 % de variación y error predictivo de 25 y 21 g (Ecuación 6 y 7). No obstante, la PI se construyó con LH obteniendo 85 % de variación y sujeto a un error de 22 g (Ecuación 8). Ante esta evidencia se asume que el peso del lomo de la raza

Tabla 3. Ecuaciones de regresión para predecir el peso vivo y las características de la canal a través de mediciones óseas de conejos NZB en crecimiento.

No	Regresión	r ²	CME	RCCME	Valor P
1	PV= -3329.53 ($\pm 156.45^{***}$) + 649.31 ($\pm 18.46^{***}$) \times LF	0.92	39086	197.7	<0.0001
2	PV= -3252.46 ($\pm 149.29^{***}$) + 383.87 ($\pm 72.75^{***}$) \times LF + 296.82 ($\pm 78.97^{**}$) \times LR-C	0.93	34919	186.9	<0.0001
3	PCC= -2387.87 ($\pm 105.13^{***}$) + 544.41 ($\pm 15.74^{***}$) \times LH	0.91	19205	138.6	<0.0001
4	PCC= -2393.28 ($\pm 100.89^{***}$) + 331.78 ($\pm 67.39^{***}$) \times LH + 194.73 ($\pm 60.15^{*}$) \times LR-C	0.92	17681	133.0	<0.0001
5	PCC= -2573.13 ($\pm 125.91^{***}$) + 322.95 ($\pm 66.20^{***}$) \times LH + 179.95 ($\pm 59.34^{*}$) \times LR-C + 697.64 ($\pm 302.09^{*}$) \times DH	0.93	17005	130.4	<0.0001
6	PD= -422.51 ($\pm 20.32^{***}$) + 75.22 ($\pm 2.39^{***}$) \times LF	0.90	659.5	25.7	<0.0001
7	PI= -281.31 ($\pm 16.96^{***}$) + 63.73 ($\pm 2.54^{***}$) \times LH	0.85	500.2	22.4	<0.0001
8	PT= -399.77 ($\pm 17.14^{***}$) + 72.74 ($\pm 2.02^{***}$) \times LF	0.92	469.2	21.7	<0.0001

PV: peso vivo; PCC: peso de la canal caliente; PD: parte delantera; PI: parte intermedia; PT: parte trasera; LH: longitud humero; LR-C: longitud radio-cúbito; LF: longitud fémur; DH: diámetro humero. r²= coeficiente de determinación; CME= Cuadrático medio del error; RCCME = Raíz cuadrada del cuadrático medio del error; ***P< 0.0001; ** P< 0.001; * P< 0.05.

NZB está altamente asociada con el crecimiento longitudinal del humero. Además, la longitud de los huesos de las extremidades anterior (LH y LR-C) y posterior (LF) contribuyeron a explicar más del 90 % de la variación observada en el PV, PCC, PD y PT. En el caso del PI tuvo un valor menor.

DISCUSIÓN

Rasgos del PV, PCC y medidas osteométricas

En el presente estudio, los rangos generales del PV y PCC respectivamente, se encuentran dentro de lo mencionado en conejos NZB de edades de 10 (Lukefahr y Ozimba, 1991), 11 (Yalçın *et al.*, 2006; Martiniaková *et al.*, 2008), 12 (Dige *et al.*, 2012; Cardinali *et al.*, 2015), 16 (Gafni *et al.*, 2001), 26 (Dige *et al.*, 2012) y 28 semanas (Masoud *et al.*, 1986). Cabe mencionar que no se alcanzó el peso adulto de la raza NZB, que es superior a los 4.5 kg (Masoud *et al.*, 1986; Naff y Craig, 2012). En cuanto a la proporción de la parte delantera demuestra ser semejante a lo encontrado en conejos NZB de 11 sem (Yalçın *et al.*, 2006). No obstante, se encuentra fuera de lo observado en conejos NZB con 19 sem, que presentaron menor porcentaje (El-Kady *et al.*, 2021). La parte intermedia, tuvo similar valor proporcional en animales de 10 y 11 semanas (Lukefahr y Ozimba, 1991; Yalçın *et al.*, 2006) pero por encima de animales con 19 semanas (El-Kady *et al.*, 2021). Por último, la parte trasera fue similar en otros estudios (Yalçın *et al.*, 2006; El-Kady *et al.*, 2021), pero en cruza de NZB con California de 12 semanas estuvieron más bajo (Pinheiro *et al.*, 2011). Algunas diferencias observadas con los resultados previos, se debió a los tipos de cortes implementados (anatómica y tecnológica) en los distintos trabajos. Esto al emplearse cortes que generalmente se utilizan en estudios para determinar de calidad físico-química, palatabilidad

o comercial que separan las áreas anatómicas del lomo y pierna (Lukefahr *et al.*, 2004; Dalle Zotte y Szendrő, 2011).

Los promedios de las longitudes del humero a diferentes edades de sacrificio se respaldan con otros hallazgos (Latimer y Sawin, 1962). La LR-C mostró similitud con los valores de conejos adultos (Latimer y Sawin, 1962). En cuanto a la LF, coinciden con los datos de trabajos con NZB (Masoud *et al.*, 1986; Gafni *et al.*, 2001; Martiniaková *et al.*, 2008; Cardinali *et al.*, 2015), otras razas y cruza (Gondret *et al.*, 2005; Michalik *et al.*, 2006; Dalle-Zotte *et al.*, 2009; Xiccato *et al.*, 2013; Matics *et al.*, 2018). Aunque, otros estudios se ha notado superioridad de estas medidas debido a la crianza en zonas templadas (Lukefahr y Ozimba, 1991) y mejoramiento genético (Brahmantiyi *et al.*, 2021). Los valores de LT-P entran dentro del plano de datos provistos en conejos NZB (Latimer y Sawin, 1962; Masoud *et al.*, 1986) así como otras razas y cruza de talla medianas (Gondret *et al.*, 2005; Szendrő *et al.*, 2010; Buijs *et al.*, 2012; Dalle-Zotte y Paci, 2014). El crecimiento de longitud de las extremidades posteriores con respecto a las anteriores en el estudio, fue semejante a lo observado por Deltoro y López (1988).

Por otro lado, los del DH y DR-C no se encontró información detallada para sus comparaciones, esto posiblemente se debió a que los estudios de huesos en la extremidad anterior no son de gran interés en el área pecuaria (predilección de la pierna) y médica (mayores casos de fracturas del fémur y tibia-peroné). Con respecto al DF, encaja con resultados de otros autores de la misma raza (Pinheiro *et al.*, 2011; Cardinali *et al.*, 2015) y líneas híbridas (Szendrő *et al.*, 2010; Xiccato *et al.*, 2013; Matics *et al.*, 2018). No obstante, la raza Pannon Blanco fue superior (Dalle-Zotte *et al.*,

2009). El DT-P tiene concordancia con conejos de la raza Pannon Ka (Matics *et al.*, 2018) y línea materna (Szendró *et al.*, 2010); pero los datos con cruza de NZB (Buijs *et al.*, 2012), razas Viena Azul, Burgundy Fawn (Dalle-Zotte y Paci, 2014) y Pannon Blanco (Dalle-Zotte *et al.*, 2009) fueron mayores. Factores que reflejan mayor aumento dimensional del diámetro se deben al mejoramiento genético, aumento de carga mecánica y mayor actividad física (Della Zotte *et al.*, 2009; Buijs *et al.*, 2012; Xiccato *et al.*, 2013; Dalle-Zotte y Paci, 2014). De manera general, los huesos en las extremidades cesan su crecimiento alrededor de las 32 semanas de vida, acercándose a la madurez fisiológica del tejido óseo (Zoetis *et al.*, 2003; Willett *et al.*, 2011).

Coefficientes de correlación

Los valores altos de correlaciones expresadas entre longitudes de los huesos en extremidades para PV, PCC y cortes anatómicos fueron similares a los reportados en estudios anteriores con diferentes especies (Deltoro y López, 1988; Gingerich, 1990; Michalik *et al.*, 2006). Particularmente, Lukefahr y Ozimba (1991) encontraron bajas correlaciones entre LF con el PV, PCC y PI en conejos a la edad de 70 días $r=0.27-0.34$. Asimismo, se presentó en ovejas a través de las cuatro longitudes óseas que tuvieron valores de relación del PV y PCC de $r=0.14-0.24$ y $r=0.09-0.27$ (Alpak *et al.*, 2009).

Los diámetros demuestran bajas a moderadas correlaciones con el PV, PCC y cortes anatómicos. Esto coincide con resultados en ovejas adultas con $r=0.15-0.48$ PV y $r=0.20-0.78$ PCC (Alpak *et al.*, 2009). Paralelo a esto, el valor de $r > 0.90$ encontrado durante la relación de la longitud de la canal en conejos híbridos a diferentes edades (Deltoro y López, 1988). Así, como los diámetros metacarpianos y metatarsianos con valores altos en el PV de ciervos jóvenes y adultos $r=0.94 \leq 0.96$ (Trbojević-Vukičević *et al.*, 2012). Posiblemente los valores bajos de correlación de los diámetros en el presente estudio, se debe al crecimiento fisiológico lento en estas zonas para soportar el peso corporal en la etapa adulta.

Ecuaciones de predicción

Las ecuaciones generadas mediante LF y LR-C demuestran ser los mejores predictores para el PV. Situación que se aprecia en el ovino cuando se seleccionaron diferentes medidas óseas de las extremidades para estimar el PV (Alpak *et al.*, 2009). En cuanto otras especies adultas, indica que la LH presenta el mejor valor de relación con PV $r^2=0.97$ (Gingerich, 1990). Las ecuaciones a partir de la LH y LR-C demostraron tener buenos valores de r^2 para el PCC. Situación observada con la estrecha relación existente entre LH y peso

corporal a diferentes edades (1 a 20 semanas) en la cruce de NZB y California (Deltoro y López, 1988). Pero un estudio de Lukefahr y Ozimba (1991) toma como modelo a la LF para estimar PCC que tuvieron una $r^2=0.90$ en cuatro razas de conejos a la 70 d de edad. Asimismo, en medidas *in vivo*, al formular ecuaciones con longitud de la pierna y PV se obtuvieron un buen $r^2=0.95$ para estimar el contenido de carne en la canal de raza Lop Frances (Michalik *et al.*, 2006). Por otro parte, cuando se anexo en la ecuación el DH mejoró a 1 % el valor predictivo del PCC. Cabe mencionar, el papel secundario de los diámetros de las extremidades eleva el valor de r^2 para predecir variables corporales en otros animales adultos (Gingerich, 1990; Alpak *et al.*, 2009; Trbojević-Vukičević *et al.*, 2012). Las participaciones limitadas de los diámetros óseos en las ecuaciones del conejo NZB, posiblemente no se alcanzó observar marcadamente debido a la ausencia del peso y edad adulta que no se consiguió. Se involucró únicamente la LF para estimar dos partes anatómicas (PD y PT) con $r^2=0.90$ y 0.92 y solamente la LH para la PI con $r^2=0.85$. No se encontró evidencias científicas que establezcan ecuaciones predictivas a través de las medidas óseas de las extremidades con los cortes anatómicos evaluadas en el estudio.

CONCLUSIÓN

Las longitudes óseas de las extremidades (fémur, tibia-peroné, radio-cubito y humero) del conejo NZB están estrechamente relacionados con el peso corporal y las características de la canal. La longitud del fémur y húmero demuestran ser las mejores elecciones y tienen buen potencial predictivo de las ecuaciones para estimar el PV y las características de la canal. Se considera únicamente la participación del diámetro del húmero para aumentar ligeramente la precisión con 1 % de predicción del PCC. Ante esta situación, se sugiere las longitudes óseas (LF, LH y LR-C) de las extremidades como instrumento útil para estimar cuantitativamente el PV, PCC y cortes anatómicos (PD, PI y PT) en el conejo NZB en crecimiento. Dicha información se pudiese adaptar para estudios del área pecuaria y medicina veterinaria.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación fue apoyado por Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) a través de la beca otorgada al primer autor, estudiante de doctorado del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán México.

Funding. There was no external funding for this work.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Data availability. Data are available with the corresponding author of this publication upon reasonable request.

Compliance with ethical standards and Statement of animal rights. In this study, animals were handled according to the guidelines and regulations for animal experimentation of the Conkal Institute of Technology (ID Project ITC: MX-ITC-002522).

Authors contribution statement (CRediT). T. A. Arbez-Abnal- Data curation, Formal analysis, Writing - original draft., A. T. Piñeiro-Vazquez - Formal analysis, Investigation, Methodology, Writing - review & editing., J. R. Sanginés-García- Supervision, Validation, Writing - review & editing. Project administration, A.J. Chay-Canul - Conceptualization, Methodology, Validation., E. Aguilar-Urquizo- Methodology, Validation, Writing - review & editing.

REFERENCIAS

- Alpak, H., Onar, V. and Mutuş, R., 2009. The relationship between morphometric and long bone measurements of the morkaraman sheep. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 33, pp. 199-207. <https://doi.org/10.3906/vet-0709-23>
- Blasco, A. and Ouhayoun, J., 1996. Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research. Revised proposal. *World Rabbit Science*, 4, pp. 93-99. <https://doi.org/10.4995/wrs.1996.278>
- Buijs, S., Van Poucke, E., Van Dongen, S., Lens, L. and Tuytens, F. A., 2012. Cage size and enrichment effects on the bone quality and fluctuating asymmetry of fattening rabbits. *Journal of Animal Science*, 90, pp. 3568-3573. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5141>
- Brahmantiyo, B., Nuraini, H., Putri, A. W., Mel, M. and Hidayat, C., 2021. Phenotypic and morphometric characterization of Hycole, Hyla and New Zealand White rabbits for KUAT hybrid (tropical adaptive and superior rabbit). *Sarhad Journal of Agriculture*, 37, pp. 09-15. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2021/37.s1.09.15>
- Cardinali, R., Cullere, M., Dal Bosco, A., Mugnai, C., Ruggeri, S., Mattioli, S., Castellini, C., Trabalza Marinucci, A. and Dalle Zotte, A., 2015. Oregano, rosemary and vitamin E dietary supplementation in growing rabbits: effect on growth performance, carcass traits, bone development and meat chemical composition. *Livestock Science*, 175, pp. 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.02.010>
- Cheeke, P. R., 1986. Potentials of rabbit production in tropical and subtropical agricultural systems. *Journal of Animal Science*, 63, pp. 1581-1586. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351581x>
- Croda-Andrade, A. Y., Valencia-García, C. G., Arbez-Abnal, T. A., Portillo-Salgado, R., Estrada-León, R. J., Vázquez-Martínez, I., Camacho-Pérez, E., Vargas-Bello-Pérez, E. and Chay-Canul, A. J., 2022. Using post-mortem measurements to predict carcass tissue composition in growing rabbits. *Animals*, 12, pp. 1-8. <https://doi.org/10.3390/ani12050605>
- Dalle Zotte, A. and Paci, G., 2014. Rabbit growth performance, carcass traits and hind leg bone characteristics as affected by the sire breed, season, parity order and sex in an organic production system. *Animal Science Papers and Reports*, 32, pp. 143-159. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-064ffc64-2083-4b7c-bd93-d6fa1b7eff40>
- Dalle Zotte, A. and Szendrő, Z., 2011. The role of rabbit meat as functional food. *Meat Science*, 88, pp. 319-331. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.02.017>
- Dalle Zotte, A., Princz, Z., Metzger, S., Szabó, A., Radnai, I., Biró-Németh, E., Orova, Z. Szendrő, Z., 2009. Response of fattening rabbits reared under different housing conditions. 2. Carcass and meat quality. *Livestock Science*, 122, pp. 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.07.021>
- Deltoro, J. and López, A. M., 1988. Allometric growth patterns of limb bones in rabbits. *Animal Science*, 46, pp. 461-467. <https://doi.org/10.1017/S0003356100019073>
- Dige, M. S., Kumar, A., Kumar, P., Dubey, P. P. and Bhushan, B., 2012. Estimation of variance components and genetic parameters for growth traits in New

- Zealand White rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Journal of Applied Animal Research*, 40, pp. 167-172. <https://doi.org/10.1080/09712119.2011.645037>
- El-Kady, R. I., Morad, A. A. and Elnattat, W. S., 2021. Response of carcass characteristics of growing White New Zealand rabbit fed on different biological treated roughages. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 52, pp. 301-310. <https://doi.org/10.21608/EJVS.2021.72768.1230>
- Gafni, R. I., Weise, M., Robrecht, D. T., Meyers, J. L., Barnes, K. M., De-Levi, S. and Baron, J., 2001. Catch-up growth is associated with delayed senescence of the growth plate in rabbits. *Pediatric Research*, 50, pp. 618-623. <https://doi.org/10.1203/00006450-200111000-00014>
- García, E., 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de köppen. Para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México (DF), pp. 217.
- Gingerich, P. D., 1990. Prediction of body mass in mammalian species from long bone lengths and diameters. *Contributions from the museum of paleontology*, 28, pp. 79-92.
- Gondret, F., Larzul, C., Combes, S. and De Rochambeau, H., 2005. Carcass composition, bone mechanical properties, and meat quality traits in relation to growth rate in rabbits. *Journal of Animal Science*, 83, pp. 1526-1535. <https://doi.org/10.2527/2005.8371526x>
- Ince, N. G., Pazvant, G., Sarıtaş, Ö., Kahvecioğlu, K. O., Öztürk, M. and Onar, V., 2017. Osteometrical assessment of withers height and sex determination of byzantine cattle from metacarpals (the theodosius harbour area, istanbul). *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 18, pp. 49-60. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1069522>
- Latimer, H. B. and Sawin, P. B., 1962. Morphogenetic studies of the rabbit. XXXI. Weights and linear measurements of some of the bones of 65 race III rabbits. *American Journal of Anatomy*, 110, pp. 259-268. <https://doi.org/10.1002/aja.1001100304>
- Lukefahr, S. D., Cheeke, P. R., McNitt, J. I. and Patton, N. M., 2004. Limitations of intensive meat rabbit production in north america: A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 84, pp. 349-360. <https://doi.org/10.4141/A04-002>
- Lukefahr, S. D. and Ozimba, C. E., 1991. Prediction of carcass merit from live body measurements in rabbits of four breed-types. *Livestock Production Science*, 29, pp. 323-334. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(91\)90107-2](https://doi.org/10.1016/0301-6226(91)90107-2)
- Martiniaková, M., Omelka, R., Grosskopf, B., Sirotkin, A. V. and Chrenek, P., 2008. Sex-related variation in compact bone microstructure of the femoral diaphysis in juvenile rabbits. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-15>
- Masoud, I., Shapiro, F., Kent, R. and Moses, A., 1986. A longitudinal study of the growth of the New Zealand White rabbit: cumulative and biweekly incremental growth rates for body length, body weight, femoral length, and tibial length. *Journal of Orthopaedic Research*, 4, pp. 221-231. <https://doi.org/10.1002/jor.1100040211>
- Matics, Z., Cullere, M., Dalle Zotte, A., Szendrő, K., Szendrő, Z., Odermatt, M., Atkári, T., Radnai, I., Nagy, I. and Gerencsér, Z., 2018. Effect of cage and pen housing on the live performance, carcass, and meat quality traits of growing rabbits. *Italian Journal of Animal Science*, 18, pp. 441-449. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1532329>
- Michalik, D., Lewczuk, A., Wilkiewicz-Wawro, E. and Brzozowski, W., 2006. Prediction of the meat content of the carcass and valuable carcass parts in french lop rabbits using some traits measured in vivo and post mortem. *Czech Journal of Animal Science*, 51, pp. 406-415. <https://doi.org/10.17221/3958-CJAS>
- Naff, K. A. and Craig, S., 2012. The domestic rabbit, *Oryctolagus cuniculus*: origins and history. In *The Laboratory Rabbit, Guinea Pig, Hamster, and Other Rodents*. pp. 157-163.

- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380920-9.00006-7>
- Nganvongpanit, K., Pitakarnnop, T., Buddhachat, K. and Phatsara, M., 2017. Gender-related differences in pelvic morphometrics of the Retriever dog breed. *Anatomia, Histologia, Embryologia*, 46, PP. 51-57. <https://doi.org/10.1111/ahe.12232>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. Disponible en: http://gobiernoabierto.pueblacapital.gob.mx/transparencia_file/idap/77.fracc01/22.NOM-033-SAG-ZOO.pdf
- NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=762506&fecha=22/08/2001
- Onar, V., 2005. Estimating the body weight of dogs unearthed from the van-yoncatepe necropolis in eastern anatolia. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 29, pp. 495-498. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tbtkveterinary/issue/12545/151396>
- Pinheiro, V., Outor-Monteiro, D., Silva, S., Silva, J. and Mourão, J. L., 2011. Growth performance, carcass characteristics and meat quality of growing rabbits housed in cages or open-air park. *Archives Animal Breeding*, 54, pp. 625-635. <https://doi.org/10.5194/aab-54-625-2011>
- Smith-Blackmore, M., and Bethard, J. D., 2021. A multidisciplinary investigation of chronic animal abuse: collaboration between veterinary forensics and forensic anthropology. *Journal of Forensic Sciences*, 66, pp. 389-392. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14576>
- Szendrő, Z., Matics, Z., Gerencsér, Z., Nagy, I., Lengyel, M., Horn, P. and Dalle Zotte, A. 2010. Effect of dam and sire genotypes on productive and carcass traits of rabbits. *Journal of Animal Science* 88, pp. 533-543. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2045>
- Trbojević Vukičević, T., Alić, I., Slavica, A., Poletto, M. and Kuži, S., 2012. Preliminary osteometrical analysis of metapodium and acropodium bones of fallow deer (*Dama dama L.*) from the brijuni islands (Croatia). *Veterinarski arhiv*, 82, pp. 75-88. <https://hrcak.srce.hr/77402>
- Ubelaker, D. H., 2014. La contribución de las alteraciones patológicas a la interpretación en Antropología forense. *Jangwa Pana*, 13, pp. 152-165. <https://doi.org/10.21676/16574923.1377>
- Willett, T. L., Wynnyckyj, C., Wang, J. and Grynpas, M. D., 2011. The fatigue resistance of rabbit tibiae varies with age from youth to middle age. *Osteoporosis International*, 22, pp. 1157-1165. <https://doi.org/10.1007/s00198-010-1282-6>
- Xiccato, G., Trocino, A., Filiou, E., Majolini, D., Tazzoli, M. and Zuffellato, A., 2013. Bicellular cage vs. collective pen housing for rabbits: growth performance, carcass and meat quality. *Livestock Science*, 155, pp. 407-414. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.05.013>
- Yalçın, S., Onbasilar, E. E. and Onbasilar, I., 2006. Effect of sex on carcass and meat characteristics of New Zealand White rabbits aged 11 weeks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 19, pp. 1212-1216. <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.1212>
- Zoetis, T., Tassinari, M. S., Bagi, C., Walthall, K. and Hurtt, M. E., 2003. Species comparison of postnatal bone growth and development. *Birth Defects Research Part B: Developmental and Reproductive Toxicology*, 68, pp. 86-110. <https://doi.org/10.1002/bdrb.1001>