

Evaluación de diferentes fórmulas zoométricas para la estimación de peso vivo en cabras criollas de Tamaulipas, México

Luz Yosahandy Peña-Avelino¹, Jorge Alva-Pérez¹, Ivonne Ceballos-Olvera², Said Hernández-Contreras¹ y Gregorio Álvarez-Fuentes^{2,*}

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Matamoros s/n, Zona centro, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87000

² Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altair 200, Col del Llano, San Luis Potosí, México. C.P. 78377

Resumen

El peso vivo en los caprinos tiene importancia sobre los parámetros productivos, genéticos y de rentabilidad. Sin embargo, los caprinocultores en Tamaulipas tienen poco acceso a básculas, por lo que el desarrollo de técnicas para la estimación del peso, no costosas son deseables. El objetivo del presente estudio fue validar el peso vivo estimado con fórmulas diseñadas en el presente estudio y publicadas a partir de los pesos vivos actuales de las cabras Tamaulipecas. Se determinó la edad, el peso vivo y cinco medidas lineales zoométricas de 206 cabras adultas. El peso vivo actual de las cabras fue de $30,11 \pm 6,33$ kg, la altura a la cruz, $65,90 \pm 4,23$ cm; la anchura de la grupa, $14,54 \pm 1,41$ cm; la altura a la grupa, $66,89 \pm 1,34$ cm; la longitud corporal, $61,19 \pm 4,95$ cm; y el perímetro torácico, $74,70 \pm 5,61$ cm. La asociación entre las medidas zoométricas lineales (MLZ) y el peso vivo actual muestra que el perímetro torácico, posee una relación positiva alta ($r = 0,75$) y el resto de las MLZ mantienen una relación que va de moderada a baja ($r = 0,55$). En los modelos se evitó la multicolinealidad y se corrieron mediante regresión múltiple completos paso por paso (*stepwise*). Los modelos de regresión del presente estudio pueden ser usados de forma confiable pues tienen una raíz del error del cuadro medio de predicción (RECM) < 6 %. Además, no se observaron diferencias entre el peso vivo estimado y peso vivo actual.

Palabras claves: Ecuaciones de predicción, medidas zoométricas.

Evaluation of different zoometric formulas for the estimation of live weight in Tamaulipas native goats

Abstract

The live weight in the goat species is important on the productive, genetic and profitability parameters. However, goat farmers in Tamaulipas have little or no access to scales, so the development and implementation of inexpensive weight estimation techniques is desirable. The objective of the present study was to validate the estimated live weights with formulas designed in the present study and the models described in the literature from the actual live weights of Tamaulipecan goats. Age, live weight and five zoometric linear measurements of 206 adult goats were determined. The Current live weight of the go-

* Autor para correspondencia: gregorio.alvarez@uaslp.mx

ats was 30.11 kg, the height at the withers, 65.90 ± 6.33 cm; the width of the rump, 14.54 ± 1.41 cm; the height at the rump, 66.89 ± 1.34 cm; the body length, 61.19 ± 4.95 cm; and the heart girth, 74.70 ± 5.61 cm. The association between linear zoometric measurements and current live weight shows that thoracic circumference has a high positive ratio ($r = 0.75$) and the rest of the linear zoometric measurements have a moderate to low ratio ($r = 0.55$). In the models, multicollinearity was avoided and they were run by means of complete multiple regression step by step (stepwise). The regression models of the present study can be used reliably since the RECM < 6 %. Furthermore, no differences were observed between estimated live weight and current live weight.

Keywords: Prediction equations, zoometric measurements.

Introducción

En el mundo la población ganadera caprina al 2018 fue de 1.184.298.887 (FAOSTAT, 2020), siendo Asia el continente que cuenta con la mayor población de esta especie, seguido de África y América. En México, el inventario caprino en el 2018 fue de 8.755.204; mientras que Tamaulipas está posicionado en el lugar 12 a nivel nacional con 270.900 (3,1%) cabezas de ganado caprino (SIAP, 2019). La producción caprina en Tamaulipas presenta heterogeneidad en el manejo de los animales y la disponibilidad de recursos vitales como forraje y agua, no es abundante (Vázquez-Rocha et al., 2019). El principal producto de la producción caprina es el cabrito de dos meses de edad (Alva-Pérez et al., 2019).

Los caprinocultores son primordialmente de escasos recursos y con estudios básicos o sin estudios (75 %; Alva-Pérez et al., 2019). El número de los animales por unidad productiva (UP) en el Altiplano Tamaulipeco fluctúa entre los 62 y los 100; bajo pastoreo continuo con uso de tierras comunes y nulo ajuste en carga animal (Vázquez-Rocha et al., 2019). Bajo las características de la caprinocultura Tamaulipeca, la determinación del peso vivo en la especie tiene importancia sobre los parámetros productivos, genéticos y de rentabilidad como: la aplicación de los medicamentos con dosis individual, selección del pie de

cría y ganancias económicas por la venta de animales (adulto o en crecimiento). Sin embargo, los caprinocultores en Tamaulipas, tienen poco o nulo acceso a básculas, por lo que el desarrollo y la implementación de técnicas para la estimación del peso, no costosas son deseables. En este sentido, el uso de medidas zoométricas para el desarrollo de ecuaciones de predicción de peso se han propuesto anteriormente (Tsegaye et al., 2013; Younas et al., 2013; Dorantes-Coronado et al., 2015a) debido a la correlación que mantienen estas medidas con el peso vivo en los animales (Mahmud et al., 2014). Las medidas zoométricas asociadas frecuentemente a la estimación del peso vivo son: perímetro torácico (PT), altura a la cruz (AC), longitud del cuerpo (LC), anchura de la grupa (AG), y altura de la grupa (ALG) (Khan et al., 2006; Semakula et al., 2010; Yakubu et al., 2011; Younas et al., 2013; Agamy et al., 2015). No obstante, las ecuaciones de predicción pueden, en ocasiones resultar complejas y difíciles de recordar. El uso de fórmulas sencillas puede facilitar la estimación del peso en condiciones de campo (Moaeen-ud-Din et al., 2006; Pérez et al., 2016). El presente estudio tuvo como objetivo comparar diferentes fórmulas para la determinación del peso vivo en cabras utilizando mediciones zoométricas y con ello determinar el potencial de aplicación en campo.

Material y métodos

Lugar de estudio y animales

El estudio se realizó durante el invierno del año 2019 (28 de febrero y hasta el 20 de marzo) en municipios de Jaumave, Tula, y Miquihuana con coordenadas latitud: 23° 30' 29,60", 99° 22' 17,60 oeste y en los municipios de Méndez, Burgos y Cruillas con coordenada latitud norte 24° 52' 34" y latitud oeste 98° 46' 36,6". Se utilizaron 206 ejemplares de hembras caprinas criollas de 16 UP clasificándose en cuatro grupos. La determinación de la edad se realizó a través de la evaluación de las piezas dentarias, según la guía descriptiva de la FAO (2012).

Obtención del peso vivo

Los animales fueron pesados por la mañana antes de salir al pastoreo y sólo se registraron los datos de las cabras criollas que el productor indicó que no estaban gestantes. El peso vivo fue estimado con una báscula digital de 150 kg (L. Noval SA de CV). El estudio fue aprobado por el Comité de bioética de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Tamaulipas.

Variables explicativas o predictoras

Para obtener las variables explicativas candidatas para los modelos de efectos mixtos se realizaron cinco mediciones lineales zoométricas (MLZ) a las cabras presentes de la UP (Figura 1). Altura a la cruz (AC), medida como la distancia entre el punto más dorsal de la cruz y el suelo; Anchura de la grupa (AG), máxima distancia entre las dos tuberosidades ilíacas externas o puntas del anca; Alzada o altura a la grupa (ALG), distancia de la espina ilíaca al suelo; Longitud corporal (LC), medida como la distancia entre la protuberancia occipital y la caída de la cola; Perímetro torácico (PT), circunferencia del pecho justo detrás de los miembros delanteros (Sañudo, 2009; FAO, 2012).

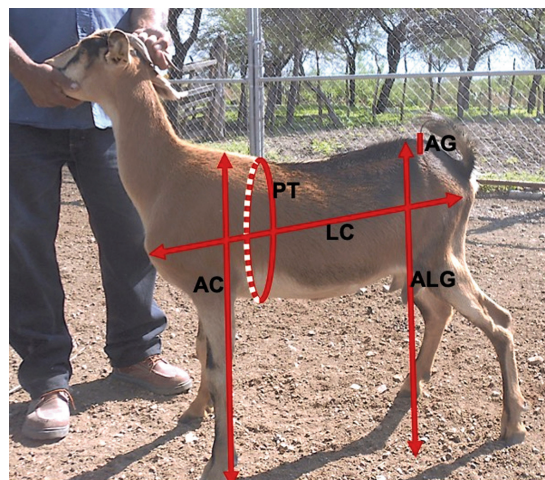


Figura. 1. Representación gráfica de la toma de Medias zoométricas: altura a la cruz (AC), perímetro torácico (PT), anchura de la grupa (AG), altura de la grupa (ALG) y longitud corporal (LC).

Figure 1. Graphic representation of zoometric measurement: height at withers (AC), heart girth (PT), rump width (AG), rump height (ALG) and body length (LC).

Modelos de predicción y fórmulas

Para los modelos de efectos mixtos a las variables explicativas individuales, primeramente, se les realizó un análisis de correlación por separado con las variables de respuesta. Las variables explicativas correlacionadas ($|r| > 0,7$) no se incluyeron en el modelo para evitar problemas de multicolinealidad (Apuhamy et al., 2014). Posteriormente se corrieron modelos de regresión múltiple completos paso por paso (stepwise) incluyendo todas las variables explicativas que tenían efectos significativos ($p < 0,05$), tomando en cuenta el R^2 -ajustado, entre mayor sea su valor, el modelo es mejor, ya que mide la capacidad predictiva del modelo. Una vez obtenido el modelo general y por grupos etarios donde las variables consideradas fueron significativas ($p \leq 0,05$), se analizaron los residuales; se realizó la prueba de Jarque-Bera,

para ver su normalidad; se aplicó la prueba de Durbin-Watson para ver que no hubiera autocorrelación, cuyos valores tiene que estar entre 1,5 y 2,5; posteriormente se verificó que no existiera multicolinealidad entre las variables explicativas, mediante la prueba del Factor de la Inflación de la Varianza (vif), valores menores a 10 indican que no existe multicolinealidad, dichos análisis se llevaron a cabo mediante el R statistical software (versión 3.6.3. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

Evaluación de los modelos

Los modelos desarrollados con las MLZ obtenidas de las cabras criollas en las UP y las 21 fórmulas para estimar el peso vivo, provenientes de la literatura (Singh y Mishra, 2004; Moaen-ud-Din et al., 2006; Fajemilehin y Salako, 2008; Pesmen y Yardimci, 2008; Chacón et al., 2011; Gebreyesus et al., 2012; Tadesse et al., 2012; Tsegaye et al., 2013; Lorato et al., 2015; Gezahegn et al., 2015; Gebrekiros et al., 2016; Pérez et al., 2016; Takele, 2016; Asefa et al., 2017; Belay y Meseretu, 2017) fueron probados con los datos obtenidos en campo.

Para establecer la concordancia general entre valores predichos por los modelos y los datos observados se determinó el error cuadrado medio de predicción (ECMP):

$$ECM = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2$$

Donde: n = número de observaciones;
 O_i = Valor observado; P_i = valor predicho.

Como la raíz cuadrada del ECM (RECM) lleva las mismas unidades de valores observados, RMSPE se expresó como un porcentaje del valor promedio observado (% RECM). El % RECM cuantifica la concordancia general entre los valores pronosticados y observados.

Resultados y discusión

Peso vivo y medidas lineales zoométricas

En la Tabla 1 se reportan los estadísticos descriptivos de las medidas zoométricas tomadas a las cabras criollas. El PVA de las cabras fue de $30,11 \pm 6,33$ kg; la altura a la cruz, AC: $65,90 \pm 4,23$ cm; la anchura de la grupa, AG: $14,54 \pm 1,41$ cm; la altura a la grupa, ALG: $66,89 \pm 1,34$ cm; la longitud corporal, LC:

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las mediciones zoométricas realizadas a las cabras criollas.
 Table 1. Descriptive statistics of zoometric measurements carried out on Creole goats.

Variable	Media	Desv. estándar	Mínimo	Máximo	CV
Peso	30,1	6,33	15,3	50,0	21,01
Edad	2,6	1,01	1,0	5,0	38,7
Perímetro torácico	74,7	5,61	60,0	92,0	7,5
Altura a la cruz	65,9	4,23	54,0	75,0	6,42
Longitud corporal	61,2	4,95	49,5	85,0	8,09
Anchura de grupa	14,5	1,41	11,0	18,0	9,73
Altura a la grupa	66,9	4,34	54,5	80,0	6,49

Coefficiente de variación (CV).

61,19 ± 4,95 cm; y el perímetro torácico, PT: 74,70 ± 5,61 cm. En estos resultados se observa que las cinco variables poseen un coeficiente de variación menor al 10 %, pero la edad y el PVA se caracterizaron por mostrar un coeficiente de variación superior al 15 %, considerado por tanto alto. Con relación al PVA y las MZL por grupos etarios (primero, segundo y tercero; Tabla 2), se observaron diferencias (AC, LC y PT). Mientras que AG y ALC solo son diferentes en el primer par dentario y son similares en el resto de los grupos etarios. El PVA reportado en el presente estudio es similar a las cabras criollas con en-

caste Nubio del Estado de México (Dorantes-Coronado, 2015b), pero ligeramente más altos que los reportados (26,5 kg) por Pérez et al. (2016). El peso vivo está influenciado por factores como: raza, alimentación, salud, sexo, edad y sistemas de producción que difieren en prácticas de manejo (Asefa et al., 2017). Las medidas zoométricas descritas en este estudio fueron mayores a las reportadas por Tadesse et al. (2012) y menores a las reportadas por Dorantes-Coronado et al. (2015b). Esto puede ser debido a las características de las razas predominantes en las diferentes áreas donde habitan las cabras.

Tabla 2. Medias del peso vivo y medidas zoométricas de las cabras criollas.
Table 2. Mean values of actual live weight and body measurements of creole goats.

Parámetro	Par dentario			EE
	1 ^{er}	2 ^{do}	3 ^{er}	
PVA (kg)	25,14 ± 4,5 ^c	29,58 ± 6,5 ^b	31,88 ± 5,5 ^{ab}	0,631
AC (cm)	61,80 ± 3,5 ^c	65,77 ± 3,8 ^b	67,18 ± 3,1 ^a	0,411
AG (cm)	13,16 ± 1,27 ^b	14,7 ± 1,1 ^a	15,05 ± 1,2 ^a	0,195
ALC (cm)	63,73 ± 3,5 ^b	66,61 ± 4,1 ^a	68,30 ± 4,1 ^a	0,442
LC (cm)	58,01 ± 6,2 ^c	60,47 ± 3,87 ^b	62,69 ± 3,9 ^{ab}	0,506
PT (cm)	69,53 ± 3,9 ^c	74,70 ± 4,84 ^b	76,35 ± 4,5 ^{ab}	0,546

Filas con diferente superíndice difieren estadísticamente ($P < 0,05$); EE: Error Estándar; Peso vivo actual (PVA); Altura a la cruz (AC); Anchura de la grupa (AG); Altura a la grupa (ALG); Longitud corporal (LC); Perímetro torácico (PT); Par dentario: 1^{er} par: 1-2 años; 2^{do} par: 2-3 años; 3^{er} par: 3-4 años.

Correlaciones

La asociación entre el peso vivo actual (Tabla 3) y el PT, muestra una relación positiva alta en cada uno de los grupos, mientras que el resto de las MLZ mantienen una relación que va de moderada a baja. Las variables explicativas PT y AG, tuvieron una correlación alta al igual que AC y ALG, sin embargo, no fueron significativas al incluirlas juntas o sepa-

radas en el modelo general, lo que evitó problemas de colinealidad entre las variables regresoras. La variable edad no fue significativa, por lo que no fue incluida en el modelo. En tanto, que la correlación que se observa para el PVA de las cabras criollas Tamaulipecas con las cinco MLZ es positiva, que va de alta a moderada (Tabla 4). Resultados similares se observan en otros estudios (Bello y Adama, 2012; Pérez et al., 2016) donde se mues-

Tabla 3. Correlaciones entre la variable dependiente (Peso) y las variables explicativas.
 Table 3. Correlations between the dependent variable (Weight) and the explanatory variables.

	Peso	Edad	PT	AC	LC	AG	ALG
Peso		0,430	0,760	0,502	0,555	0,584	0,495
Edad			0,439	0,406	0,365	0,354	0,366
PT				0,520	0,546	0,653	0,513
AC					0,453	0,503	0,595
LC						0,467	0,369
AG							0,540
ALG							

Perímetro torácico (PT); Altura a la cruz (AC); Longitud corporal (LC); Anchura de la grupa (AG); Altura a la grupa (ALG).

Tabla 4. Matriz de correlaciones entre el peso vivo actual y las medidas zoométricas de las cabras criollas.
 Table 4. Matrix of correlations between live weight, zoometric measurement and body condition of creole goats.

Age	PT	AC	LC	AG	ALG
1 ^{er} par	0,7118***	0,4151**	0,3774*	0,5281**	0,4230**
2 ^{do} par	0,6999***	0,4626***	0,5325***	0,4819***	0,4705***
3 ^{er} par	0,7589***	0,2419*	0,4575**	0,1981**	0,4145**
Todos	0,7598***	0,5016***	0,5549***	0,5840***	0,4953***

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. Altura a la cruz (AC); Anchura de la grupa (AG); Altura a la grupa (ALG); Longitud corporal (LC); Perímetro torácico (PT); 1^{er} par: 1-1,5 años; 2^{do} par: 2-2,5 años; 3^{er} par: 3-4 años.

tra que el PT es la MLZ con mayor fuerza de asociación para predecir el peso vivo (Asefa et al., 2017). Lo anterior indica que, a mayor coeficiente de correlación del peso vivo con alguna de las MLZ, mayor es la posibilidad de inclusión en los modelos de ecuación para la predicción del peso vivo.

Ecuaciones de predicción

En la Tabla 5, se indican los modelos obtenidos, el modelo que incluye las variables PT,

AC y LC que mostraron ser significativas ($p < 0,0001$; $p < 0,04$ y $p < 0,0014$). El R^2 ajustado, que explica la capacidad predictiva, fue mayor en el modelo general que en los demás modelos. Los cuatro modelos presentaron distribución normal. Esto es observado ya que los valores de X^2 fueron mayores al valor de p , por lo que se acepta H_0 que dice que hay normalidad. No existió autocorrelación entre las variables pues los valores estuvieron dentro del rango de 1,5 a 2,5. Tampoco se observó multicolinealidad ya que todos los valores son menores a 10.

Tabla 5. R^2 ajustado, Prueba de normalidad de los residuales (J.B) de los nuevos modelos; pruebas de autocorrelación y multicolinealidad de las variables utilizadas en los modelos.

Table 5. Adjusted R^2 , Residual normality test (J.B) of the new models; Autocorrelation and multicollinearity tests of the variables used in the models.

Ecuación	R^2 ajustado	J.B. χ^2	DW	VIF		
				PT	AC	LC
Peso _{general} = -45,3 + 0,69PT + 0,16AC + 0,22LC	0,64	12,98	1,81	1,64	1,45	1,51
Peso _{1-1,5} = -32,32 + 0,83PT	0,49	7,39	1,56	1,62		
Peso _{2-2,5} = -40,92 + 0,94PT	0,48	16,05	1,73	2,07		
Peso ₃₋₄ = -36,59 + 0,616PT + 0,346LC	0,56	1,93	1,52	1,64		1,27

PT: Perímetro torácico; AC: Altura a la cruz; LC: Longitud corporal; J.B: Prueba de Jarque Bera; DW: Prueba de Durbin-Watson; VIF: prueba del Factor de la Inflación de la Varianza; Los subíndices indican la edad en años de las cabras.

En la Tabla 6 se indica que los modelos diseñados en el presente estudio incluyeron de una a tres MZL: PT, LC y AC. Asimismo, el RECMF fue menor (FPVE = 3,92, FPV1p = 3,18, FPVW2p = 4,63) comparado con otros modelos (Pesmen y Yardimci, 2008; Gebreyesus et al., 2012; Tsegaye et al., 2013; Gezahegn, 2015; Pérez et al., 2016; Takele, 2016; Belay y Meseretu, 2017), con excepción de FPV3p (RECMF = 5,70) que, no obstante, fue superado al contrastarlo con otras fórmulas (Chacón et al., 2011; Dorantes-Coronado et al., 2015b; Lorato et al., 2015; Gebrekiros et al., 2016). De la misma forma, otros estudios han mostrado que las ecuaciones de predicción lineal incluyen de manera frecuente a PT (Chacón et al., 2011; Tsegaye et al., 2013; Gebrekiros et al., 2016). En tanto, que en ecuaciones múltiples incluyen PT y AC (Dorantes-Coronado et al., 2015a), o PT y LC (Khan et al., 2006; Gebrekiros et al., 2016). Chitra et al. (2012) utilizaron en su modelo LC y AC. Además, Pérez et al. (2016) en los modelos de predicción usan PT, LC y ALG.

Evaluación de los nuevos modelos y los ya publicados

Para evaluar los nuevos modelos (Tabla 6) se utilizó el 25 % del total de las MLZ, esta fracción de información no fue incluida en la generación de éstos, el mejor modelo para estimar el PV es el que incluye mediciones de 1 año a 1,5 años y solo utiliza la variable PT, ya que el RECMF es menor, seguido del modelo general que incluye mediciones de 1 año a 5 años.

El modelo general y para 1 año a 1,5 años, son más eficientes para la estimación del PV que los modelos ya publicados al tener un RECMF menor. El modelo de 2 años a 2,5 años es muy similar en la estimación del PV a los modelos publicados por Pesmen y Yardimci, (2008); Gebreyesus et al. (2012); Tsegaye et al. (2013); Gezahegn (2015); Takele (2016) y Belay y Meseretu (2017), con RECMF en 4 % y 5 %; el modelo que incluye mediciones de cabras de 3 años a 4 años es muy similar a los modelos publicados por Slippers et al. (2000);

Tabla 6. ECMP y RECMC de los nuevos modelos y los modelos ya publicados.
 Table 6. ECMP and RECMC of the new models and the models already published.

	Ecuación	ECMP	RECMC
Nuevos modelos			
FPVE	$= -45,3 + 0,69PT + 0,16AC + 0,22LC$	15,43	3,92
FPVE1p	$= -32,32 + 0,83PT$	10,08	3,18
FPVE2p	$= -40,92 + 0,94PT$	21,53	4,63
FPVE3p	$= -36,59 + 0,616PT + 0,346LC$	32,53	5,70
Modelos publicados			
Slippers et al., (2000)	$= -47,03 + 0,993PT$	26,17	5,12
Khan et a., (2006)	$= (PT+LC) \times 2/13,5$	128,24	11,32
Singh y Mishra (2004)	$= -13,6 + 0,53PT$	37,14	6,09
Fajemilehin y Salako (2008)	$= -13,6 + 0,53PT$	37,14	6,09
	$= -9,25 + 0,53LC$	76,38	8,74
	$= -7,63 + 0,57AC$	30,07	5,48
	$= -7,6 + 0,49ALC$	55,31	7,44
	$= -8,19 + 2,01AG$	109,05	10,44
Pesmen y Yardimci, (2008)	$= -53,061 + 1,12PT$	19,26	4,39
Gebreyesus et al, (2012)	$= -22,3 + 0,67PT$	23,49	4,85
Chacón et al., (2011)	$= (PT^3 \times 80)/1000000$	39,15	6,26
Dereje et al., (2013)	$= -31,32 + 0,83$	17,19	4,15
Dorantes-Coronado et al, (2015a)	$= -52,29 + 0,71PT + 0,3LC$	136,81	11,7
	$= -62,06 + 0,65PT + 0,45LC$	274,8	16,58
	$= -20,08 + 0,25PT + 0,32LC$	164,64	12,83
Gezahegn (2015)	$= -24,94 + 0,72PT$	19,02	4,36
Lorato et al., (2015)	$= -28,2 + 0,74PT$	26,44	5,14
Gebrekiros et al., (2016)	$= -48,33 + 1,21PT$	163,66	12,79
Pérez et al., (2016)	$= -53 + 0,6PT + 0,4LC + 0,2ALG$	29,6	5,44
Takele (2016)	$= -50,35 + 1,11PT$	24,92	4,99
Belay y Meseretu, (2017)	$= -16,2 + 0,6$	18,95	4,35

ECM: error cuadrado medio; RECMC: Raíz del error del cuadro medio de predicción; FPVE: Peso general; FPVE1p: Formula peso 1^{er} par dentario: 1-1,5 años; FPVE2p: Formula peso 2^{do} par dentario: 2-2,5 años; FPVE3p: Formula peso 3^{er} par dentario: 3-4 años.

Fajemilehin y Salako (2008) donde incluye AC; Lorato et al. (2015) y Pérez et al. (2016), con RECOMP de entre 5 % y 6 %. En los modelos nuevos la variable PT fue significativa y en la mayoría de los ya publicados se incluye, debido a que es la que tiene una mayor correlación con el PVA.

A partir de los análisis de regresión se proponen los siguientes modelos para estimar el peso vivo de las cabras en Tamaulipas:

Modelo general, todos los animales

$$FPVE \text{ (kg)} = 45,3 + 0,22 \times Lc \text{ (cm)} + 0,16 \times AC \text{ (cm)} + 0,69 \times PT \text{ (cm)}$$

Modelos cabras con primer par dentario

$$FPVE1p \text{ (kg)} = -33 + 0,84 \times PT \text{ (cm)}$$

Modelo, cabras con segundo par dentario

$$FPVE2p \text{ (kg)} = -41 + 0,94 \times PT \text{ (cm)}$$

Modelo, cabras con tercer par dentario

$$FPVE3p \text{ (kg)} = -36,6 + 0,35 \times LC \text{ (cm)} + 0,62 \times PT \text{ (cm)}$$

El PVE mediante el uso de MLZ y el diseño de fórmulas ha sido reportado anteriormente, por otros autores (Fajemilehin y Salako, 2008; Gebrekiros et al., 2016; Pérez et al., 2016). Los resultados observados en el presente estudio muestran que la comparación entre PVA y PVE, mediante las cuatro fórmulas diseñadas, es efectiva, pues no se observan diferencias entre los pesos (Tabla 7). En tanto que, al comparar las fórmulas de la literatura para estimar el peso vivo, solo dos modelos –el modelo 1, desarrollado por Pérez et al. (2016) y el modelo 2 propuesto por Fajemilehin y Salako (2008) – mostraron ser eficaces para estimar el PVA de las cabras criollas Tamaulipecas, sin que se observaran diferencias en dos grupos etarios. Pérez et al. (2016) encontró concordancia entre PVE y PVA de las cabras estudiadas. Además, al comparar fórmulas existentes en la literatura con sus resultados, observó similitud con nueve fórmulas, en contraste con el presente estudio donde solo se observó similitud con dos.

Tabla 7. Medias del peso vivo actual comparado con el peso vivo estimado mediante las fórmulas estimadas.
Table 7. Averages of current live weight compared to estimated live weight using the estimated formulas.

Grupo etario	PVA	Fórmula						EE
		FPVE1p	FPVE2p	FPVE3p	FVPE	F1	F2	
Todos	30,11 ^{ab}	29,75 ^{ab}	29,22 ^{ab}	31,13 ^a	30,25 ^{ab}	29,68 ^b	29,93 ^{ab}	0,966
1 ^{er} par	25,14 ^{ab}	25,41 ^{ab}	24,36 ^b	26,81 ^{ab}	25,33 ^{ab}	24,67 ^b	27,6 ^a	0,603
2 ^{do} par	29,59	29,22	29,22	30,88	30,07	29,33	29,86	0,528
3 ^{er} par	32,51 ^{ab}	31,52 ^{ab}	31,20 ^{ab}	33,0 ^a	32,39 ^{ab}	31,97 ^{ab}	30,93 ^b	0,454

PVA: Peso vivo actual; FPVE1p: Fórmula peso 1^{er} par dentario: 1-1,5 años; FPVE2p: Fórmula peso 2^{do} par dentario: 2-2,5 años; FPVE3p: Fórmula peso 3^{er} par dentario: 3-4 años; F1: Fórmula propuesta por Pérez et al., (2006); F2: Fórmula propuesta por Fajemilehin y Salako (2008); EE: error estándar.

Conclusiones

Los modelos obtenidos para estimar el peso vivo de las cabras criollas en Tamaulipas usando medidas zoométricas pueden ser usados satisfactoriamente en las condiciones de campo ya que tienen un RECMF <6 %, similar y en ocasiones más bajo a los modelos ya existentes. La variable perímetro torácico fue incluida en todos los modelos nuevos y los ya publicados, por lo que es una variable confiable para ser incluida en los modelos de predicción del peso vivo en cabras.

Agradecimientos

A los productores caprinos de las unidades productivas del Estado de Tamaulipas; a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Referencias bibliográficas

- Agamy R, Abdel-Moneim AY, Abd-Alla MS, Abdel-Mageed II, Ashmawi GM (2015). Using linear body measurements to predict body weight and carcass characteristics of three Egyptian fat-tailed sheep breeds. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances* 10: 335-344. <https://doi.org/10.3923/ajava.2015.335.344>.
- Alva-Pérez J, López-Corona LE, Zapata-Campos CC, Vázquez-Villanueva J, Barrios-García HB (2019). Condiciones productivas y zoonositarias de la producción caprina en el Altiplano de Tamaulipas, México. *Interciencia* 44: 154-160.
- Appuhamy JAD, Moraes LE, Wagner-Riddle C, Casper DP, France J, Kebreab E (2014). Development of mathematical models to predict volume and nutrient composition of fresh manure from lactating Holstein cows. *Animal Production Science* 54: 1927-1938. <https://doi.org/10.1071/AN14533>.
- Asefa B, Teshome A, Abera M (2017). Prediction of live body weight from heart girth measurement for small ruminant in Ethiopia : a review article. *International Journal of Agricultural Research, Sustainability, and Food Sufficiency* 4: 193-201.
- Belay Z, Meseretu M (2017). On farm phenotypic characterization of indigenous goat populations in Gamo Gofa Zone South Western Ethiopia. *Journal of Advances Studies in Agricultural, Biological and Environmental Sciences* 4: 23-32.
- Bello AA, Adama TZ (2012). Studies on body weight and linear body measurements of castrates and non-castrate savannah brown goats. *Asian Journal of Animal Sciences* 6: 140-146. <https://doi.org/10.3923/ajas.2012.140.146>.
- Chacón E, Macedo F, Velázquez F, Paiva SR, Pineda E, McManus C (2011). Morphological measurements and body indices for Cuban Creole goats and their crossbreds. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40: 1671-1679. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000800007>.
- Chitra R, Rajendran S, Prasanna D, Kirubakaran A (2012). Prediction of body weight using appropriate regression model in adult female Malabari goat. *Veterinary World* 5: 409-411. <https://doi.org/10.5455/vetworld.2012.409-411>.
- Dorantes-Coronado EJ, Gómez TG, Jasso AX, Mondragón AJ, García HP (2015a). Utilización de las medidas zoométricas para predecir el peso corporal en cabras criollas, en el sur del estado de México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* 6(1): 525-534.
- Dorantes-Coronado EJ, Torres-Hernández G, Hernández-Mendo O, Rojo-Rubio R (2015b). Zoometric measures and their utilization in prediction of live weight of local goats in southern México. *SpringerPlus* 4: 695. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1424-6>.
- Fajemilehin SOK, Salako AE (2008). Body measurement characteristics of the West African Dwarf (WAD) Goat in deciduous forest zone of Southwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 7: 2521-2526.
- FAO (2012). Phenotypic characterization of animal genetic resources. *FAO Animal Production and*

- Health Guidelines: No 11. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i2686e/i2686e00.htm> (Consultado: 19 junio 2020).
- FAOSTAT (2020). Live Animals. Stocks. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QA> (Consultado: 23 septiembre 2020).
- Gebrekiros H, Kefelegn K, Banerjee AK, Zinabu W (2016). On-farm phenotypic characterization of begait goat and their production system in western zone of Tigray, Ethiopia. *International Journal of Research and Innovations in Earth Science* 3: 15-20.
- Gebreyesus G, Haile A, Dessie T (2012). Participatory characterization of the Short-eared Somali goat and its production environment around Dire Dawa, Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development* 24: 184.
- Gezahegn TG, Gulich GA, Kebede K, Mekasha Y (2015). Phenotypic characterization of goat type in Nuer Zone of Gambella People Regional State, South Western. *Global Science Research Journals* 3(5): 164-172. <http://www.globalscienceresearchjournals.org/gjabg/270682015907>.
- Khan H, Muhammad F, Ahmad, R, Nawaz G, Zubair M (2006). Relationship of body weight with linear body measurements in goats. *Journal of Agricultural and Biological Science* 1: 51-54.
- Lorato Y, Ahmed KM, Belay B (2015). Morphological characterization of indigenous Woyto-Guji goat type in Loma district, Southern Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research* 10(20): 2141-2151. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9626>.
- Mahmud MA, Shaba P, Zubairu UY (2014). Live body weight estimation in small ruminants-A review. *Global Journal of Animal Scientific Research* 2: 102-108.
- Moaen-ud-Din M, Ahmad N, Iqbal A, Abdullah M (2006). Evaluation of different formulas for weight estimation in Beetal, Teddi and Crossbred (Beetal X Teddi) Goats. *Journal of Animal and Plant Sciences* 16: 74-78.
- Pérez ZO, Ybañez AP, Ybañez RHD, Sandoval JFG (2016). Body weight estimation using body measurements in goats (*Capra hircus*) under field condition. *Philippine Journal of Veterinary and Animal Sciences* 42: 1-7.
- Pesmen G, Yardimci M (2008). Estimating the live weight using some body measurements in Saanen goats. *Archiva Zootechnica* 11: 30-40.
- Sañudo C (2009). Valoración morfológica de los animales domésticos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España. 862 pp.
- Semakula J, Mutetikka D, Kugonza RD, Mpairwe D (2010). Variability in body morphometric measurements and their application in predicting live body weight of Mubende and small East African goat breeds in Uganda. *Middle-East Journal of Scientific Research* 5: 98-105.
- SIAP (2019). SIACON-NG. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-161430> (Consultado: 19 junio 2020).
- Singh PN, Mishra AK (2004). Prediction of body weight using conformation traits in Barbari goats. *The Indian Journal of Small Ruminants* 10: 173.
- Slippers SC, Letty BA, De Villiers JF (2000). Prediction of the body weight of Nguni goats. *South African Journal of Animal Science* 30(4): 127-128. <https://doi.org/10.4314/sajas.v30i4.3940>.
- Tadesse A, Gebremariam T, Gangwar SK (2012). Application of linear body measurements for predicting body weight of Abergelle goat breed in Tigray region, Northern-Ethiopia. *Global Journal of Bio-science and Biotechnology* 1: 314-319.
- Takele A (2016). Phenotypic characterization of indigenous goat types and their production system in Shabelle Zone, South Eastern Ethiopia. *International Journal of Innovate Research & Development* 5: 234-252.
- Tsegaye D, Belay B, Haile A (2013). Linear body measurements as predictor of body weight in harghe highland goats under farmers environment: Ethiopia. *Global Veterinaria* 11: 649-656.

Vázquez-Rocha L, Peña-Avelino LY, Limas-Martínez AG, Lucero-Magaña FA, López-Aguirre D (2019). Pastoreo del ganado caprino en el Altiplano de Tamaulipas. *Transversalidad Científica y Tecnológica* 3: 109-114.

Yakubu A, Ladokun AO, Adua MM (2011). Bioprediction of body weight from zoometrical traits of non-descript goats using linear and non-linear models in north central Nigeria. *Livestock Research for Rural Development* 23: 1-11.

Younas U, Abdullah M, Bhatti JA, Pasha TN, Ahmad N, Nasir M, Hussain A (2013). Inter-relationship of body weight with linear body measurements in Hissardale sheep at different stages of life. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 23: 40-44.

(Aceptado para publicación el 8 de febrero de 2021)