



PREDICCIÓN DEL PESO VIVO MEDIANTE VARIABLES MORFOMÉTRICAS EN CAPRINOS DE BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO †

[PREDICTION OF LIVE WEIGHT THROUGH MORPHOMETRIC VARIABLES IN GOATS FROM BAJA CALIFORNIA SUR, MEXICO]

Raúl Ávalos-Castro¹, José Denis Osuna-Amador¹, Noé Medina-Córdova^{1*}, Carlos Cabada-Tavares¹ and José C. Segura-Correa²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). CIRNO – C.E. Todos Santos. Edificio SADER modulo “C”. Agricultura no. 1555 entre México y Durango, Col. Emiliano Zapata, La Paz, B.C.S., México. C.P. 23070.

E-mail: medina.no@inifap.gob.mx, noemedinac@gmail.com

²Universidad Autónoma de Yucatán, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Km 15.5 carretera Mérida a Xmatkuil, Mérida, México. C.P. 97315.

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Regression models based on different morphometric measurements have been used as a practical, minimal cost and highly reliable method to predict live weight (LW) in goats; however, for the northwest region of Mexico there is no information available on the genetic and phenotypic variability of local goat populations, therefore, it is necessary to generate experiences on the efficiency of morphometric measurements to estimate LW in this area. **Objective.** To obtain the best equation for predicting live weight through variables and morphometric indices in goats from Baja California Sur. **Methodology.** Two assessments were carried out; the first one measured the height at the withers (AC), body length (LC), thoracic girth (PT) and LW of 403 Nubian crossbred goats. Morphometric measurements were analyzed by stepwise multiple regression and simple correlation coefficients were obtained; in the second, the efficiency of the best model (soft tape measure) was evaluated vs the weight obtained with a spring balance and the estimated by observation. **Results.** In the first assessment, it was observed that the three morphometric variables presented a positive, high and significant correlation ($p < 0.001$) with the PV, with the PT being the variable with the highest correlation value ($r = 0.97$), followed by the LC ($r = 0.93$) and AC ($r = 0.91$). The best PV prediction equation (R^2 adjusted = 0.98) was the one that included PT. The inclusion of the three morphometric variables in the model only improved the coefficient of determination by 1 % (R^2 adjusted = 0.99). The efficiency of the estimated weight with a soft tape measure vs a spring balance was similar ($p < 0.05$). **Implications:** Results indicate that the developed equation can accurately estimate goats PV when a spring balance is not available. **Conclusion.** Under the conditions of this study, the best model that predicted the PV was the one that included PT, which means saving time, money, and simplicity.

Key words: Regression; zoometry; thoracic perimeter; prediction equation; Nubian.

RESUMEN

Antecedentes. Se han utilizado modelos de regresión basados en diferentes medidas morfométricas como método práctico, de costo mínimo y de alta fiabilidad para predecir el peso vivo (PV) en caprinos; sin embargo, para la región noroeste de México, no existe información disponible sobre la variabilidad genética y fenotípica de poblaciones caprinas locales, por lo que resulta necesario generar experiencias sobre la eficiencia de las medidas morfométricas para estimar el PV en esta zona. **Objetivo.** Obtener la mejor ecuación para la predicción del PV mediante variables e índices morfométricos en cabras de Baja California Sur. **Metodología.** Se realizaron dos evaluaciones; en la primera, se midió la altura a la cruz (AC), largo del cuerpo (LC), perímetro torácico (PT) y PV de 403 caprinos encastados de Nubio. Las medidas morfométricas se analizaron mediante regresión múltiple paso a paso y se obtuvieron los coeficientes de correlación simple; en la segunda, se evaluó la eficiencia del mejor modelo (cinta métrica) vs el peso

† Submitted June 19, 2024 – Accepted January 31, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5696>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = R. Avalos-Castro: <http://orcid.org/0000-0003-3953-1442>; J.D. Osuna-Amador: <http://orcid.org/0000-0002-1707-6269>; N. Medina-Córdova: <http://orcid.org/0000-0001-7743-987X>; C. Cabada-Tavares: <http://orcid.org/0000-0003-3115-024X>; J.C. Segura-Correa: <http://orcid.org/0000-0003-1329-9948>

obtenido con báscula y el estimado por observación. **Resultados.** En la primera evaluación, se observó que las tres variables morfométricas presentaron correlación positiva, alta y significativa ($p < 0.001$) con el PV, siendo el PT la variable de mayor correlación ($r = 0.97$), seguida por el LC ($r = 0.93$) y AC ($r = 0.91$). La mejor ecuación de predicción del PV (R^2 ajustado = 0.98) fue la que incluyó PT. La inclusión de las tres principales variables morfométricas en el modelo, sólo mejoró en 1 % el coeficiente de determinación (R^2 ajustado = 0.99). La eficiencia del peso estimado con cinta métrica vs báscula fue similar ($p < 0.05$). **Implicaciones:** Los resultados indican que la ecuación desarrollada puede estimar con precisión el PV de las cabras cuando no se dispone de una báscula. **Conclusión.** Bajo las condiciones de este estudio, el mejor modelo que predijo el PV fue el que incluyó el PT, lo que significa ahorro en tiempo, dinero y simplicidad.

Palabras clave: Regresión; zoometría; perímetro torácico; ecuación de predicción; Nubio.

INTRODUCCIÓN

La determinación del peso vivo (PV) en el ganado es relevante por ser punto de partida en la toma de decisiones para el manejo de alimentación, reproducción, dosis de medicamentos, así como la comercialización de animales en pie (Habib *et al.*, 2019; Abbas *et al.*, 2021). A pesar de la importancia de obtener el PV, es una práctica poco implementada, en algunos casos debido a la carencia de básculas en las unidades de producción, además de la baja practicidad de usar estos equipos en condiciones de campo, así como al tiempo que se invierte en la actividad (Raja *et al.*, 2015; Chay-Canul *et al.*, 2019).

Con frecuencia la estimación del PV en condiciones de campo se hace de forma subjetiva, y se basa por lo general en la experiencia del productor o técnico, lo que a menudo genera errores de manejo, originados precisamente por la falta de precisión en la determinación de esta variable (Capello *et al.*, 2017). En el contexto descrito, es necesario el desarrollo de métodos más sencillos para estimar este parámetro a bajo costo y de manera práctica (Adeyinka y Mohammed, 2006; Prieto *et al.*, 2019). Al respecto, se han utilizado modelos de regresión basados en diferentes medidas morfométricas, de costo mínimo y de alta fiabilidad para predecir el PV en caprinos (Dorantes-Coronado *et al.*, 2015; Peña-Avelino *et al.*, 2021).

En este sentido, las medidas más utilizadas han sido el uso del largo del cuerpo (LC) y perímetro torácico (PT) (Souza *et al.*, 2009; Sungirai *et al.*, 2014; Dakhlan *et al.*, 2021). Moscol (2016) evaluó la correlación existente entre el PT y el PV en ganado caprino en la región de Piura, Perú, y encontró una fuerte correlación entre ambas variables ($r = 0.97$); asimismo determinó que cada centímetro del PT fue equivalente a 0.89 y 1.46 kg de PV en hembras y machos, respectivamente.

En evaluaciones realizadas con cabras Tamaulipecas, Peña-Avelino (2021) probó cinco medidas lineales zoométricas, y encontró una relación positiva alta entre PT y PV ($r = 0.75$), considerando que el modelo generado puede ser utilizado de manera confiable al presentar una raíz del error del cuadrado medio de

predicción < 6 %. Por su parte, Ribeiro *et al.* (2004b) en la búsqueda de funciones de predicción del PV en caprinos de dos poblaciones (razas Moxotó y Canindé), a partir de diferentes medidas morfométricas, encontraron altas correlaciones con el PV ($r > 0.90$), destacando el PT con el valor más alto (Moxotó: $r = 0.97$; Canindé: $r = 0.94$).

En la región noroeste de México, no existe información disponible sobre la variabilidad genética y fenotípica de las poblaciones caprinas locales, por lo que resulta interesante generar experiencias relacionadas con la eficiencia de las medidas morfométricas para estimar parámetros como el PV (Dorantes-Coronado *et al.*, 2015), particularmente en Baja California Sur, donde la actividad caprina se desarrolla en su mayoría bajo un esquema extensivo, con pastoreo libre durante el día y encierro nocturno, un bajo nivel de tecnificación, un inventario de 114 mil cabezas de caprinos (SIAP, 2022), con alrededor de 1,192 productores implicados en la actividad, y de los cuales el 75 % depende exclusivamente de ella (Avalos *et al.*, 2021). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue obtener la mejor ecuación (por su simplicidad y valor de R^2) para la predicción del PV mediante variables e índices morfométricos en cabras de Baja California Sur.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevaron a cabo dos evaluaciones; la primera, para determinar la relación del PV con variables morfométricas y generar ecuaciones de predicción confiables, mientras que la segunda se implementó para evaluar la eficiencia del mejor modelo de regresión para estimar el PV y compararlo con aquel obtenido con báscula y de manera visual.

Evaluación I

Área de estudio

El trabajo se realizó durante los meses de abril y junio de 2022 en los municipios de La Paz, Comondú, Loreto y Mulegé en Baja California Sur, México, que se localizan entre las coordenadas 115° 13' 26.4" O a 109° 24' 46.8" O y 22° 52' 19.2" N a 28° 0' 0" N. Esta

zona forma parte del Desierto de Sonora, y es considerada como una zona extremadamente árida (FAO, 1987), donde alrededor del 92 % de su flora está compuesta por arbustos y el 23 % de estas son especies endémicas (INEGI, 1981). La región tiene el menor promedio de precipitación anual (< 200 mm) del país (INEGI, 2022).

Animales

La primera evaluación se realizó previo a la época de empadre, incluyendo 390 hembras y 13 machos encastados (mestizas Nubias con caprinos “criollos”), que por información de los productores y corroborado por dentición, mostraron tener edades de menos de 4 meses (n = 60), entre 5 y 12 meses (n = 42), y de 1 a 7 años (n = 301). Los animales fueron seleccionados mediante un muestreo aleatorio simple de ocho comunidades del estado de Baja California Sur: Santa Martha (n = 30) y San Francisco de la Sierra (n = 71), en el municipio de Mulegé; Agua Verde (n = 24), en el municipio de Loreto; Ciudad Constitución (n = 14), Zaragoza (n = 54), Insurgentes (n = 66) y Villa Morelos (n = 86), en el municipio de Comondú; y La Matanza (n = 58), en el municipio de La Paz. En estas zonas, los sistemas de producción se caracterizan por una densidad de animales muy baja (0,13 – 0,36 individuos/ha), períodos de sequía severos y prolongados, bajo rendimiento continuo por animal y producción antieconómica, no existen cercas para el manejo del ganado, suplementan en épocas de sequía con alfalfa henificada, sin suministrar alimentos complementarios para aumentar la producción animal durante el resto del año (Ramírez-Orduña *et al.*, 2008). Tradicionalmente, a las cabras se les permite pastar libremente durante todo el día y permanecer dentro del corral durante la noche, por lo que pastan alrededor del corral dentro de un área limitada. El objetivo principal de las unidades de producción es la venta de queso, cabritos al destete, capones y cabras de desecho (Avalos *et al.*, 2021).

VARIABLES MORFOMÉTRICAS

Las variables analizadas fueron altura a la cruz (AC), medida como la distancia entre el punto más dorsal de la cruz y el suelo; largo del cuerpo (LC), medido como la distancia entre la protuberancia occipital y la base de la cola; y perímetro torácico (PT), medido como la circunferencia del pecho justo detrás de los miembros delanteros (Sañudo, 2009; FAO, 2012). Las medidas de las variables morfométricas fueron tomadas en metros, utilizando una cinta métrica flexible, y para el PV se usó una báscula Rino® con capacidad para 100 kg con un grado de exactitud de ± 0.5 kg. Debido a que la gestación produce sesgos en las medidas morfométricas, principalmente las que involucran el pecho (Yakubu *et al.*, 2011), en este estudio no se consideraron hembras preñadas.

Análisis estadístico

Se obtuvieron las variables morfométricas, las medias y desviaciones estándar del PV, así como los coeficientes de correlación de Pearson entre pares de variables. En adición, se corrieron regresiones simples y regresiones múltiples con los datos observados y transformados a logaritmos naturales, utilizando un modelo de la forma $\ln(PV) = a_0 + a_1 \cdot \ln(X_1) + a_2 \cdot \ln(X_2) + a_3 \cdot \ln(X_3)$, mediante el procedimiento “paso a paso”. Los datos crudos se transformaron a la función logaritmo para reducir la variación. Todos los análisis estadísticos fueron ejecutados utilizando el procedimiento REG y la sentencia selection del paquete estadístico SAS® (SAS Institute Inc., 2014). El criterio para evaluar la bondad de ajuste de los modelos, se basó en el valor del coeficiente de determinación ajustado, R^2 y el criterio de información de Akaike (AIC).

Evaluación II

Evaluación del mejor modelo

El mejor modelo de regresión fue probado con los datos tomados en campo de la unidad de producción “El Palmar de en Medio”. La unidad de producción se ubica en la subdelegación de La Matanza, en el municipio de La Paz, Baja California Sur, México, en las coordenadas geográficas 23° 37' 57" latitud N y 110° 16' 54" longitud O. La toma de datos se realizó durante el mes de julio de 2022, en 53 cabras adultas con encaste de la raza Nubia, y un rango de edad de 12 a 36 meses, la determinación de la edad se realizó mediante consulta al dueño de la unidad de producción y corroborado a través de la evaluación de las piezas dentarias, según la guía descriptiva de la FAO (2012). Los animales se manejaron en libre pastoreo durante el día y con encierro nocturno. El PV fue obtenido de tres formas: 1) utilizando una báscula de resorte con capacidad para 100 kg y con un grado de exactitud de ± 0.5 kg; 2) mediante la ecuación generada (mejor modelo), utilizando cinta métrica; y 3) por observación, con la ayuda de tres personas con experiencia en el manejo de cabras. La eficiencia entre métodos fue medida como PV estimado por ecuación (PVE) o por observación (PVO) / PV registrado con báscula (PVB). Los datos recolectados fueron analizados mediante el procedimiento ANOVA y comparados con la prueba de Tukey, para determinar diferencias entre métodos de medición (SAS Institute Inc., 2014).

RESULTADOS

Evaluación I

Estadísticas descriptivas

Las estadísticas descriptivas del PV y variables morfométricas se presentan en la Tabla 1.

Correlaciones morfométricas

Se observó que la correlación de cada una de las variables morfométricas con el PV fue altamente significativa ($p < 0.001$) y positiva. El PT presentó el valor más alto de correlación ($r = 0.97$) con el PV (Tabla 2).

Ecuaciones de predicción

Las R^2 ajustadas y criterios de ajuste de Akaike (AIC) obtenidos mediante stepwise se presentan en la Tabla 3. Se aprecia que basado tanto en el R^2 ajustado (mayor valor mejor) como en AIC (menor valor mejor) el

mejor modelo fue el modelo 1, que incluye a las tres variables morfométricas. Sin embargo, bajo el principio de parsimonia no hay diferencia en los R^2 ajustados y AIC entre los modelos 1, 2, 3 y 4, por lo tanto, el modelo 4 que incluye sólo a la variable PT, es el más apropiado.

El antilogaritmo del modelo logarítmico obtenido para la ecuación de regresión simple fue:

$$PV = 75.883 (\pm 0.01) \cdot PT^{2.8992 (\pm 0.02)}$$

Considerando las tres variables morfométricas en el modelo, se generó la ecuación:

$$\ln(PV) = 4.4596 (\pm 0.02) + 0.4165 (\pm 0.08) \cdot \ln(LC) + 0.2266 (\pm 0.08) \cdot \ln(AC) + 2.2988 (\pm 0.08) \cdot \ln(PT)$$

Cada parámetro estimado fue significativo ($p < 0.001$) y el modelo presentó un error estándar de 0.084 y coeficiente de variación de 2.46, en la Figura 1 se muestran los valores observados vs el valor estimado con la ecuación. La estimación del PV de cabras, utilizando como predictor el PT, se muestra en la Tabla 4.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas del peso vivo y variables morfométricas observadas en cabras encastadas de Nubia del estado de Baja California Sur.

Variable	n	Mínimo	Máximo	Media \pm EE
PV	403	4.00	75.00	36.83 \pm 16.39
LC	403	0.29	0.90	0.62 \pm 0.13
AC	403	0.35	0.90	0.63 \pm 0.12
PT	403	0.36	1.00	0.75 \pm 0.15

n = tamaño de muestra, PV = peso vivo (kg); LC = largo de cuerpo (m); AC = altura a la cruz (m); PT = perímetro torácico (m), EE = error estándar.

Tabla 2. Coeficientes de correlación de Pearson (r) entre variables morfométricas y peso vivo (PV) de cabras encastadas de Nubia en Baja California Sur.

Variable morfométrica	PV ⁺
LC	0.93***
AC	0.91***
PT	0.97***

⁺Valores de r; *** $p < 0.0001$; LC = largo de cuerpo; AC = Altura a la cruz; PT = perímetro torácico; PV = peso vivo.

Tabla 3. Coeficientes de determinación (R^2) ajustados y sin ajustar por el número de parámetros en las ecuaciones y criterio de Akaike (AIC).

No. de modelo	R^2 ajustado	R^2	AIC	Variables
1	0.9856	0.9857	-1988.68	PT AC LC
2	0.9854	0.9855	-1982.75	PT LC
3	0.9847	0.9848	-1965.08	PT AC
4	0.9835	0.9835	-1934.01	PT
5	0.9544	0.9547	-1524.60	AC LC
6	0.9462	0.9464	-1458.87	LC
7	0.9253	0.9255	-1326.09	AC

R^2 = coeficiente de determinación; AIC = ajuste de Akaike; LC = largo de cuerpo; AC = altura a la cruz; PT = perímetro torácico.

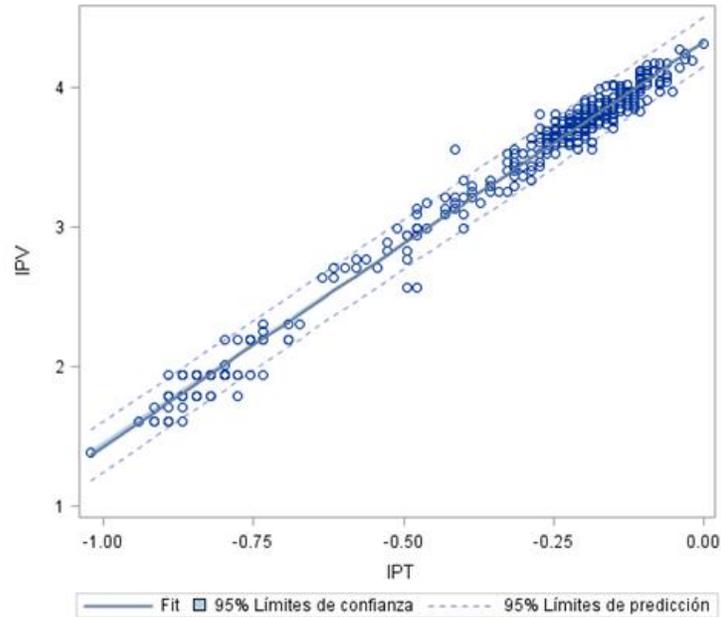


Figura 1. Valores predichos y observados del logaritmo natural del peso vivo (IPV) de caprinos encastados, utilizando la variable perímetro torácico (IPT) en modelo de regresión múltiple.

Tabla 4. Estimación de peso vivo utilizando el perímetro torácico como predictor en cabras de Baja California Sur.

PT (m)	PV (kg)	PT (m)	PV (kg)
0.41	5.72	0.71	28.12
0.42	6.14	0.72	29.28
0.43	6.57	0.73	30.47
0.44	7.02	0.74	31.70
0.45	7.50	0.75	32.96
0.46	7.99	0.76	34.25
0.47	8.50	0.77	35.57
0.48	9.04	0.78	36.93
0.49	9.59	0.79	38.32
0.50	10.17	0.80	39.74
0.51	10.77	0.81	41.20
0.52	11.40	0.82	42.69
0.53	12.05	0.83	44.22
0.54	12.72	0.84	45.78
0.55	13.41	0.85	47.38
0.56	14.13	0.86	49.01
0.57	14.87	0.87	50.68
0.58	15.64	0.88	52.39
0.59	16.44	0.89	54.13
0.60	17.26	0.90	55.91
0.61	18.11	0.91	57.73
0.62	18.98	0.92	59.59
0.63	19.88	0.93	61.49
0.64	20.81	0.94	63.43
0.65	21.77	0.95	65.40
0.66	22.75	0.96	67.42
0.67	23.77	0.97	69.47
0.68	24.81	0.98	71.57
0.69	25.88	0.99	73.71
0.70	26.98	1.00	75.89

PT = perímetro torácico; PV = peso vivo.

Evaluación II

Estimación del mejor modelo

La eficiencia observada entre métodos de estimación con el PV registrado con báscula fue más estrecha con la ecuación de predicción que con el registrado por observación, con una eficiencia promedio de 0.99 para PVE/PVB y de 1.05 para PVO/PVB, es decir, se tiende a sobreestimar el peso por observación (Tabla 5).

La determinación del PV a través de los distintos métodos no presentó diferencias estadísticas ($p > 0.1360$). Sin embargo, se identificó que el PV estimado por observación superó en 2.1 kg por animal al valor de esta característica registrado con báscula, mientras que el PV determinado con la ecuación solo lo subestimó en 0.26 kg por animal (Tabla 6); estos valores son económicamente significativos para los productores al hablar del valor de venta. Es importante mencionar que la determinación del PV por observación en esta investigación fue realizada por investigadores con experiencia en la evaluación de caprinos, por lo que determinación del PV a través de este método por personas con menor experiencia podría incrementar el sesgo en los valores de esta característica.

DISCUSIÓN

Evaluación I

Estadísticas descriptivas del peso vivo y variables morfométricas

El PV promedio registrado en el presente estudio fue superior al reportado por Peña-Avelino *et al.* (2021) en cabras criollas de Tamaulipas, México, quienes obtuvieron en promedio pesos vivos de 30.11 ± 6.33 kg; las variables, altura a la cruz (65.90 ± 4.23 cm), longitud corporal (61.19 ± 4.95 cm) y perímetro torácico (74.70 ± 5.61 cm), fueron similares a las observadas en el presente trabajo. Los resultados aquí mostrados también fueron superiores a los reportados por Dorantes-Coronado (2015) en cabras criollas con encaste de Nubio en el estado de México ($32 - 34$ kg) y a los registrados (26.5 kg) por Pérez *et al.* (2016). Las diferencias se pueden atribuir principalmente a factores relacionados con el clima, que generalmente producen cambios en la cantidad y calidad de la vegetación existente en las diferentes zonas agroecológicas, dando lugar a diferentes eco tipos (Dossa *et al.*, 2007). Así mismo, Dorantes-Coronado *et al.* (2015) mencionan que también pueden ser ocasionadas por los procesos de selección natural o artificial que se da en los animales de cada región.

Tabla 5. Comparación de peso vivo (kg) obtenido con báscula, ecuación de predicción INIFAP y el estimado por observación, en cabras adultas encastadas de Nubia (n = 53).

PT (m)	PV (kg)			Eficiencia	
	Báscula	Ecuación	Observación	(PVE/PVB)	(PVO/PVB)
0.73	32.00	30.47	36.75	0.95	1.15
0.74	34.00	31.70	38.67	0.93	1.13
0.75	33.00	32.90	37.67	0.99	1.14
0.76	36.67	34.25	39.44	0.93	1.07
0.77	37.83	35.57	37.93	0.94	1.00
0.78	39.75	36.93	41.42	0.92	1.05
0.79	38.40	38.72	40.19	1.01	1.04
0.80	39.00	39.74	44.00	1.01	1.12
0.81	40.57	41.20	42.89	1.01	1.05
0.82	43.67	42.69	45.78	0.97	1.04
0.83	41.50	44.22	43.19	1.06	1.04
0.84	47.75	45.78	47.86	0.95	1.00
0.85	47.00	47.38	47.33	1.00	1.00
0.86	45.00	49.01	46.44	1.08	1.03
0.87	46.00	50.68	47.00	1.10	1.02
0.89	52.00	54.13	48.00	1.04	0.92
0.94	65.00	63.43	72.33	0.97	1.11
0.96	72.00	67.42	72.00	0.93	1.00

PT = perímetro torácico; PV = peso vivo; PVB = peso vivo de báscula; PVE = peso vivo de ecuación; PVO = peso vivo por observación.

Tabla 6. Comparación del peso vivo promedio obtenido con báscula, ecuación de predicción y estimado por observación, en cabras adultas encastadas de Nubia*.

Tipo de medición	PV (kg)	EE	Mínimo	Máximo
Báscula	43.95a**	2.47	32.00	72.00
Ecuación (estimada con cinta)	43.69a	2.45	30.47	67.42
Observación	46.05a	2.41	36.75	72.33

PV = peso vivo; EE = error estándar; *Para la comparación se utilizaron 53 observaciones determinadas en cada tipo de medición.**Diferente literal entre valores promedio de PV indican diferencia significativa (Tukey, $p < 0.05$); valor de la diferencia mínima significativa = 3.8 kg.

Correlaciones morfométricas

Los coeficientes de correlación observados entre el PV y el PT fueron similares a los reportados por Ribeiro *et al.* (2004b) en cabras de la raza Moxotó (0.97), en Brasil. Por otro lado, Castellaro *et al.* (2019), en cabras encastadas de mestizos Boer con criollos, obtuvieron una correlación de 0.91 entre ambas variables. Así mismo, Pesmen y Yardimci (2008) registraron correlaciones de 0.94 en cabras de la raza Saanen.

Resende *et al.* (2001), realizaron un estudio en cabras Saanen, en Brasil, para determinar las correlaciones existentes entre el peso vivo con el perímetro torácico, altura a la cruz y largo del cuerpo. Los autores observaron valores similares a los del presente trabajo para la correlación entre el peso vivo y perímetro torácico (0.95) y entre largo del cuerpo (0.91) con excepción de la altura a la cruz, donde la correlación fue menor (0.43). Para los estudios realizados en México, con cabras criollas o encastadas con Nubio, se obtuvieron correlaciones menores (Dorantes-Coronado *et al.*, 2015; Peña-Avelino *et al.* 2021) a las observadas en el presente trabajo. La fuerte relación existente entre el peso vivo y medidas corporales sugiere que la combinación de estas, o cualquier variable morfológica, podrían usarse para estimar el peso vivo de cabras en lugares donde no hay disponibilidad de báscula. Resaltando particularmente el perímetro torácico, donde su utilización como único predictor del peso vivo sería suficiente. Observaciones similares se han hecho en otros estudios (Bello y Adama, 2012; Pérez *et al.*, 2016) donde se muestra que el perímetro torácico es la variable corporal con mayor fuerza de asociación para estimar el peso vivo (Asefa *et al.*, 2017).

Ecuaciones de predicción

Las ecuaciones de regresión para estimar el peso vivo de cabras en México, han sido generadas a través de procedimientos de regresión lineal (Dorantes-Coronado *et al.*, 2015; Peña-Avelino *et al.*, 2021), esto debido a que la relación observada por estos autores fue lineal, a pesar de incluir animales de diferentes edades, coeficientes de determinación más precisos podrían obtenerse si se incluyeran en una ecuación

logarítmica, como la utilizada en el presente estudio. Otros investigadores sugieren que, si se utiliza el perímetro torácico como la variable independiente y como único predictor del peso vivo, es recomendable generar diferentes ecuaciones por sexo (Castellaro *et al.*, 2019).

Por otra parte, Ribeiro *et al.* (2004b) recomiendan el uso de una ecuación para estimar el peso vivo de cabras de diferentes razas y edades, cuando se utiliza el perímetro torácico como variable de estimación. Resende *et al.* (2001), coinciden con lo obtenido en el presente trabajo, ya que, al evaluar el peso vivo de cabras de tres edades distintas, utilizando el perímetro torácico, la altura a la cruz y la longitud del cuerpo, concluyeron que el perímetro torácico fue la medida más eficiente para estimar el peso vivo de cabras lecheras, pudiendo ser utilizada esta variable para construir una ecuación de estimación general para cabras de diferentes edades.

Castellaro *et al.* (2019) al evaluar 15 variables morfométricas, encontraron que, de acuerdo a los resultados de la matriz de correlación, las mejores variables para predecir el peso vivo fueron las variables diámetro dorso-esternal (DD), diámetro longitudinal (DL) y perímetro torácico (PT), sugiriendo la ecuación $\ln(PV) = -8.69107 + 0.643982 \cdot \ln(DD) + 1.15385 \cdot \ln(DL) + 1.00934 \cdot \ln(PT)$, la cual presentó un R^2 de 0.932. Por su parte, Rodríguez *et al.* (1990) mencionan que sería ideal disminuir el número de mediciones, ya que esto simplificaría el control morfológico, permitiendo definir correctamente el peso vivo de un animal de forma más simplificada.

En este sentido, para el presente estudio la ecuación que utiliza el perímetro torácico difiere en su coeficiente de determinación de la múltiple solo en 1 %. Así mismo, Ribeiro *et al.* (2004a) en su investigación con el grupo genético de cabras Graúna en Brasil, observaron que los mejores predictores del peso vivo fueron el diámetro longitudinal y el perímetro torácico, sugiriendo que el uso del perímetro torácico sería suficiente para predecir el peso vivo de animales que se manejan en condiciones de campo, similar al observado en los datos del presente trabajo.

Independientemente a las ecuaciones generadas para las cabras de México y otros países, es importante considerar ecuaciones específicas para cada biotipo, debido a las diferencias morfoestructurales existentes entre las cabras con diferentes mestizajes y especialización (carne o leche).

Evaluación II

Estimación del mejor modelo

Chacón-Hernández y Boschini-Figueroa (2017) observaron que los resultados de los pesos, al comparar el registrado por la báscula y la cinta pesadora, eran distintos, siendo inferior el de la cinta pesadora, atribuyendo las diferencias a que era una cinta desarrollada para registrar el peso de hembras y machos por igual, en el entendido de que existen diferencias en el PV debido al dimorfismo sexual (Adeyinka y Mohammed, 2006).

En el caso del registro de PV estimado por la ecuación en el presente estudio, no se observaron diferencias debido a que los rebaños del estado de Baja California Sur están constituidos principalmente por hembras, ya que la mayoría de los machos son vendidos como cabritos, y los pocos que se quedan son castrados para ser vendidos como capones a una edad promedio de 10 a 12 meses. Por otra parte, los sementales que en promedio se observan uno por cada 30 hembras, solo están presentes durante la temporada de empadre (Avalos-Castro *et al.*, 2021), los cuales son desechados aproximadamente a los 5 años una vez cumplida su edad reproductiva.

Por lo tanto, el ajuste similar entre el peso de la báscula y el de la ecuación es debido a que la generación de ésta ecuación incluye en su mayor porcentaje a hembras. Observaciones similares fueron hechas por Pesmen y Yardimci (2008), que al comparar el peso vivo de cabras de la raza Saanen, no observaron diferencias entre el PV registrado con báscula y el estimado a través de diferentes medidas corporales.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de este estudio, la medición del perímetro torácico es suficiente para predecir el peso vivo en cabras encastadas con Nubio de Baja California Sur. El estudio mostró que los coeficientes de correlación entre el peso vivo y las variables morfométricas independientes tienen una relación alta, positiva y significativa. La eficiencia de la ecuación desarrollada también sugiere que esta se puede utilizar para estimar el peso vivo con precisión aceptable en ausencia de una báscula. Adicionalmente, es importante mencionar la necesidad de continuar con el desarrollo de ecuaciones que permitan estimar el peso vivo en caprinos, considerando otros aspectos tales

como el sexo, edades, biotipos y sistemas de producción.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores caprinos de los municipios de Comondú, La Paz, Loreto y Mulegé, en Baja California Sur, por su hospitalidad en la toma de datos.

Funding: This research was financially supported by grants from Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Conflict of interest: The authors declare no competing or financial interests.

Compliance with ethical standards: All study procedures were conducted according to the Mexican Official Standard NOM-062-ZOO-1999 for the production, care, and use of experimental animals.

Data availability: Data are available with Dr. Noé Medina, medina.noe@inifap.gob.mx upon request.

Author contribution statement (CRediT): **R. Avalos-Castro** - Investigation, Data curation, Formal analysis, Writing of manuscript. **J. D. Osuna-Amador** - Data curation, Writing of manuscript. **N. Medina-Córdova** - Investigation, Formal analysis, Writing-review & editing. **C. Cabada-Tavares** - Methodology, Formal analysis, Investigation. **J. C. Segura-Correa** - Data curation, Formal analysis, Writing-review & editing.

REFERENCES

- Abbas, A., Ullah, M.A. and Waheed, A., 2021. Body weight prediction using different data mining algorithms in Thalli sheep: A comparative study. *Veterinary World*, 14(9), pp. 2332-2338.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.2332-2338>
- Adeyinka, I.A. and Mohammed, I.D., 2006. Relationship of liveweight and linear body measurement in two breeds of goat of northern Nigeria. *Journal Animal Veterinary Advances*, 5(11), pp. 891-893.
https://www.researchgate.net/publication/26590886_Relationship_of_Liveweight_and_Linear_Body_Measurement_in_Two_Breeds_of_Goat_of_Northern_Nigeria
- Asefa, B., Teshome, A. and 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, pp. 193-201. http://academiascholarlyjournal.org/ijarsfs/publications/nov17/Asefa_et_al.pdf
- Avalos-Castro, R., Osuna-Amador, J.D., Cabada-Tavares, C.A., Medina-Córdova, N.J., Cadena-Iñiguez, P. and Ariza-Flores, R., 2021. Productive and technological characteristics of goat farmers in Comondú, Baja California Sur. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i8.2132>
- Bello, A.A. and Adama, T.Z., 2012. Studies on body weight and linear body measurements of castrates and non-castrate savannah brown goats. *Asian Journal of Animal Sciences*, 6, pp. 140-146. <https://doi.org/10.3923/ajas.2012.140.146>
- Capello, J.S., Ruíz, S., Revidatti, M.A., De la Rosa, S.A., Morales, V., Tejerina, E.R. and Orga, A., 2017. Estimación del peso vivo a través de la medición del perímetro torácico en cabras criollas formoseñas (Argentina). *Actas Iberoamericanas en Conservación Animal*, 9, pp. 103-108. https://produccion-animal.com.ar/produccion_caprina/produccion_caprina/188-perimetro_toraxico.pdf
- Castellano, G., Orellana, C., Escanilla, J.P. and Ruz, Y., 2019. Estimación del peso vivo en caprinos a través de medidas morfométricas. *Agro Sur*, 47(1), pp. 23-28. <http://revistas.uach.cl/index.php/agrosur/article/view/5937>
- Chacón-Hernández, P. and Boschini-Figueroa, C., 2017. Peso estimado en cabras con una cinta comercial de pesaje y perímetro torácico. *Agromía mesoamericana*, 28(1), pp. 229-236. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.21611>
- Chay-Canul, A.J., García-Herrera, R., Salazar-Cuytún, R., Ojeda-Robertos, N.F., Cruz-Hernández, A., Fonseca, M. A. and Canul-Solís, J.R., 2019. Development and evaluation of equations to predict body weight of Pelibuey ewes using heart girth. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(3), pp. 767-777. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4911>
- Dakhlan, A., Iqbal-Hamdani, M.D., Rusitaimi-Putri, D. and Arif-Qisthon, S., 2021. Short Communication: prediction of body weight based on body measurement in female Saburai goat. *Biodiversitas*, 22(3), pp. 1391-1396. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220341>
- Dorantes-Coronado, E.J., Torres-Hernández, G., Hernández-Mendo, O. and Rojo-Rubio, R., 2015. Zoometric measures and their utilization in prediction of live weight of local goats in southern México. *SpringerPlus*, 4, pp. 695. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1424-6>
- Dossa, L.H., Wollny, C. and Gaulty, M., 2007. Spatial variation in goat populations from Benin as revealed by multivariate analysis of morphological traits. *Small Ruminant Research*, 73, pp. 150-159. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.01.003>
- FAO, 1987. Committee on Agriculture (Ninth Session). Improving Productivity of Dryland Areas. FAO, Rome, pp. 353-375.
- FAO, 2012. *Phenotypic characterization of animal genetic resources*. FAO Animal Production and Health Guidelines: No 11. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/i2686e/i2686e00.htm>
- Habib, M.A., Akhtar, A., Haque-Bhuiyan, A.K., Choudhury, M.P. and Afroz, M.F., 2019. Biometrical relationship between body weight and body measurements of black bengal goat (BBG). *Current Journal of Applied Science and Technology*, 35(2), pp. 1-7. <https://doi.org/10.9734/CJAST/2019/v35i230172>
- INEGI, 1981. Dirección General de Geografía. Carta uso del suelo y vegetación 1:1,000,000.
- INEGI, 2022. Clima en el estado de Baja California Sur. Disponible en: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bcs/territorio/clima.aspx?tema=me&e=03#:~:text=Las%20lluvias%20son%20muy%20escasas,es%20menor%20a%20200%20mm> Consultado el 04 de noviembre de 2022
- Moscol, J.R., 2016. Relación entre el perímetro torácico y el peso vivo en caprinos de la región de Piura, año 2015. Tesis licenciatura. 40p. Universidad Alas Peruanas, Perú.
- Peña-Avelino, L.Y., Alva-Pérez, J., Ceballos-Olvera, I., Hernández-Contreras, S. and Álvarez-

- Fuentes, G., 2021. Evaluación de diferentes fórmulas zoométricas para la estimación de peso vivo en cabras criollas de Tamaulipas, México. *ITEA, información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA)*, 117(5), pp. 532-543. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.007>
- Pérez, Z.O., Ybañez, A.P., Ybañez, R.H.D. and Sandoval, J.F.G., 2016. Body weight estimation using body measurements in goats (*Capra hircus*) under field condition. *Philippine Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 42, pp. 1-7.
- Pesmen, G. and Yardimci, M., 2008. Estimating the live weight using some body measurements in Saanen goats. *Archiva Zootechnica*, 11(4), pp. 30-40. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093178273>
- Prieto, A., Hick, M.H.V., Caruso, L.M. and Frank, E.N., 2019. Estimación del Peso corporal de Caprinos de la Provincia de Córdoba. *Investigación, Ciencia y Universidad*, 3(4), pp. 71-71. <http://revistas.umaza.edu.ar/index.php/icu/article/view/263>
- Raja, T.V., Venkatachalapathy, R.T., Kannan, A., Bindu, K.A., 2015. Determination of best-fitted regression model for prediction of body weight in Attappady black goats. *International Journal of Agricultural Sciences*, 5(3), pp. 423-457. <https://www.internationalscholarsjournals.com/articles/determination-of-bestfitted-regression-model-for-prediction-of-body-weight-attappady-black-goats.pdf>
- Ramírez-Orduña, R., Ramírez, R.G., Romero-Vadillo, E., González-Rodríguez, H., Armenta-Quintana, J.A. and Avalos-Castro, R., 2008. Diet and nutrition of range goats on a sarcocaulous shrubland from Baja California Sur, Mexico. *Small Ruminant Research*, 76(3), pp. 166-176. <http://doi:10.1016/j.smallrumres.2007.12.020>
- Resende, K.T., Medeiros, A.N., Calegari, A. and Yáñez, E.A., 2001. Utilización de medidas corporales para estimar el peso vivo de caprinos Saanen. *Jornadas Científicas*, 26, pp. 340-344.
- Ribeiro, M.N., da Silva, J.V., Pimenta-Filho, E.C. and Sereno, J.R.B., 2004a. Estudio de las correlaciones entre características fenotípicas de caprinos naturalizados. *Archivos de Zootecnia*, 53(203), pp. 337-340. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49520313.pdf>
- Ribeiro, N.L., Medeiros, A.N., Ribeiro, M.N. and Pimenta-Filho, E.C., 2004b. Estimación del peso vivo de caprinos autóctonos brasileños mediante medidas morfométricas. Universidad de Córdoba. España. *Archivos de Zootecnia*, 53(203), pp. 341-344. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49520314.pdf>
- Sañudo, C., 2009. Valoración morfológica de los animales domésticos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España.
- SAS (Statistical Analysis Software), 2014. SAS – *Statistical Analysis Software for Windows ver 9.3*. Cary, NC: SAS Inst. Inc.
- Souza, S., Leal, A., Barioni, C., Matos, A., Morais, J., Araújo, M., Neto, O. Santos, A. and Costa, E.R., 2009. Utilização de medidas biométricas para estimar peso vivo em ovinos. *Archivos Latinoamericana de Producción Animal*, 17(3), pp. 61-66. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3670388>
- Sungirai, M., Masaka, L. and Benhura, T.M., 2014. Validity of weight estimation models in pigs reared under different management conditions. *Veterinary Medicine International*, 1, pp. 1-5. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/530469>
- Yakubu, A., Ladokun, A.O. and Adua, M.M., 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, pp. 6. <http://www.lrrd.org/lrrd23/6/yaku23130.htm>