


Desarrollo y evaluación de ecuaciones para predecir el peso corporal de ovejas Pelibuey mediante la circunferencia torácica



Alfonso J. Chay-Canul ^a

Ricardo A. García-Herrera ^{a*}

Rosario Salazar-Cuytún ^b

Nadia F. Ojeda-Robertos ^a

Aldenamar Cruz-Hernández ^a

Mozart A. Fonseca ^c

Jorge R. Canul-Solís ^d

^a Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Agropecuarias. Carretera Villahermosa-Teapa, km 25, R/A. La Huasteca 2^a Sección, 86280 Villahermosa, Tabasco, México. Tel. DACA: (993) 358-1585, 142-9151, Fax DACA: (993) 142-9150.

^b Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Mérida, Yucatán, México.

^c University of Nevada, Department of Agriculture Nutrition & Veterinary Sciences. Reno, Nevada. USA.

^d Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tizimín. Yucatán, México.

* Autor de correspondencia: ricardogarciaherrera@hotmail.com

Resumen:

El objetivo principal fue desarrollar ecuaciones para predecir el peso corporal (PC) utilizando la circunferencia torácica (CT) en ovejas Pelibuey. Un segundo objetivo fue evaluar este modelo para determinar la precisión utilizando un conjunto de datos independiente. Para desarrollar el modelo, se utilizó un conjunto de datos compuesto por 366 ovejas de 2-3 años de edad, no gestantes y no lactantes, con una media de peso corporal de 45.7 ± 9.16 kg y una CT de 87.55 ± 7.93 cm. Se ajustó una ecuación lineal: $PC = -47.97 (\pm 2.01) + 1.07 (\pm 0.02) \times HG$ ($r^2 = 0.86$, raíz del cuadrado medio del error (RMSE) = 3.46, y $n = 366$). Un segundo conjunto de datos compuesto por 67 animales con características similares (PC de 38.25 ± 8.62 kg y CT de 80.37 ± 7.03 cm) se utilizó para evaluar las ecuaciones desarrolladas. Para la evaluación, se utilizó la relación entre los valores observados y predichos de PC por regresión lineal, el cuadrado medio del error de predicción (MSEP) y la raíz cuadrada del cuadrado medio del error de predicción (RMSEP), y el análisis del coeficiente de correlación de concordancia. La ecuación propuesta fue altamente precisa ($R^2 = 0.913$) y exacta ($C_b = 0.996$), con un índice de reproducibilidad de 0.95. El MEF ha indicado una mayor eficiencia de predicción con una mayor proporción de la varianza total de los valores observados explicada por los datos previstos (0.91). La partición del MSEP indicó un sesgo medio muy pequeño (0.082). El sesgo sistemático mostró que solo 1.93 % del error de predicción se asoció con la pendiente, y la mayor parte del error fue explicada por el componente aleatorio que indica sesgos pequeños con las predicciones. La ecuación propuesta estimó con precisión y exactitud el peso corporal de las ovejas Pelibuey no gestantes y no lactantes utilizando CT, y, por lo tanto, se recomienda su uso.

Palabras clave: Mediciones biométricas, Ovejas Pelibuey, Peso corporal, Predicción.

Recibido: 21/05/2018

Aceptado: 03/08/2018

El peso corporal (PC) es una de las medidas más precisas para determinar el crecimiento del ganado⁽¹⁾. La comprensión adicional del crecimiento corporal permite nuevos enfoques de optimización de la dieta con consecuencias en la mejora de la predicción de los precios de venta⁽²⁾, así como estrategias de manejo que pueden mejorar los tratamientos terapéuticos para las enfermedades del ganado^(2,3).

A pesar de que PC es un rasgo económico importante que puede ayudar a la alimentación y al apoyo a las decisiones de manejo, los pequeños productores rara vez pueden pagar las costosas básculas necesarias para realizar dicha medición^(3,4,5). Aunque se han informado sobre varias técnicas para medir o estimar el peso corporal del ganado, el uso de básculas de pesaje sigue siendo el método más preciso, pero menos preferido por los pequeños productores, debido a que es

incómodo y requiere mucho tiempo, al costo asociado a su implementación y al estrés que causa a los animales^(1,2).

Recientemente, se ha informado que las ovejas pierden una cantidad significativa de PC durante un breve retraso previo al pesaje como resultado de las operaciones de manejo que conducen a pérdidas de aproximadamente 1.8 a 2.9 kg o de 3.5 a 5.6 % de PC⁽¹⁾. Por lo tanto, es importante desarrollar métodos prácticos alternativos que sean de bajo costo y que permitan a los pequeños agricultores monitorear el crecimiento corporal de los animales de producción^(4,6).

Entre los métodos alternativos, el uso de medidas biométricas (MB) como la circunferencia torácica (CT), la longitud del cuerpo (LC) y la altura de la cruz (AC) son herramientas valiosas y bastante simples que se utilizan para la estimación del peso corporal de los animales de producción⁽⁵⁾. La CT está altamente correlacionada con el peso corporal de pequeños rumiantes (ovejas y cabras) de diferentes razas y, por lo tanto, se la emplea con mayor frecuencia⁽⁶⁻⁹⁾.

En este sentido, Yilmaz *et al*⁽⁸⁾ estimaron el PC basado en CT en ovejas Karya y encontraron una precisión media (r^2 de 0.63). Otros⁽¹⁰⁾ también señalaron que la CT estaba relacionada ($r = 0.79$) con el peso corporal de los corderos Pelibuey en el momento del sacrificio. De manera similar, Bautista-Díaz *et al*⁽¹¹⁾ informaron que la CT se puede usar para predecir el PC en ovejas Pelibuey ($r^2 = 0.72$). A pesar de los acuerdos sobre las correlaciones de ambas variables, no hay estudios en condiciones de campo diseñados para evaluar la relación entre el PC y la CT en las ovejas Pelibuey. Además, las ecuaciones predictivas informadas para los pequeños rumiantes rara vez se han evaluado para las ovejas Pelibuey. El objetivo principal del estudio actual fue desarrollar ecuaciones para predecir el peso corporal (PC) utilizando la circunferencia torácica (CT) en ovejas Pelibuey no gestantes y no lactantes. Un segundo objetivo fue evaluar este modelo para determinar la precisión utilizando un conjunto de datos independiente.

Todos los procedimientos que involucran animales se realizaron dentro de las pautas de las técnicas oficiales de cuidado y salud animal en México (NOM-051-ZOO-1995).

El experimento se llevó a cabo en el rancho comercial "El Rodeo", ubicado a 17 ° 84 "N, 92 ° 81" O; 10 msnm y 14 km de la carretera Villahermosa-Jalapa, Tabasco, México. Se empleó un conjunto de datos compuesto por 366 ovejas Pelibuey de 2-3 años de edad clínicamente sanas, no gestantes y no lactantes, con una media de peso corporal de 45.7 ± 9.16 kg. Para evaluar las ecuaciones desarrolladas se utilizó un segundo conjunto de datos compuesto por 67 animales con características similares y PC promedio de 38.25 ± 8.62 kg.

De acuerdo con la administración del rancho, las ovejas se agruparon en instalaciones de confinamiento de lados abiertos provistas de un techo y un piso de concreto. La dieta consistió en 66 % de forraje y 34 % de concentrado, con un estimado de energía metabolizable de 12 MJ / kg de MS y 10% de PC⁽¹²⁾. Los ingredientes dietéticos fueron los granos de cereales (maíz o sorgo),

la harina de soya, heno de pastos tropicales, vitaminas y minerales. De cada oveja se tomaron el PC (escala digital; Modelo EQB, Torrey, México) y la circunferencia torácica (CT). La CT se midió como la circunferencia más pequeña justo por detrás de las patas delanteras, en el plano vertical utilizando una cinta de fibra de vidrio flexible (Truper®, Truper S.A. de C.V., San Lorenzo, México) como lo describen Bautista-Díaz *et al*⁽¹¹⁾.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando SAS⁽¹³⁾. Se obtuvieron estadísticos descriptivos con PROC MEANS. El PROC REG se utilizó para desarrollar la ecuación predictiva a fin de estimar el peso corporal utilizando mediciones de CT. Los valores atípicos se probaron mediante una gráfica que contrastaba el residuo estudiantizado con los valores pronosticados por el modelo estadístico. Se eliminaron los puntos de datos si el residuo estudiantizado estaba fuera del intervalo de -2.5 a 2.5. La bondad de ajuste de la regresión se evaluó mediante la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el r^2 .

Según lo recomendado por Tedeschi⁽¹⁴⁾, se usaron estadísticas adicionales para evaluar el ajuste de los modelos, incluida la desviación estándar (DE), el cuadrado medio del error de predicción (MSEP) y la raíz cuadrada del cuadrado medio del error de predicción (RMSEP), para explicar la distancia entre la predicción y su verdadero valor. El sesgo medio (MB) se usó como representación de la inexactitud promedio del modelo⁽¹⁵⁾. El factor de eficacia de modelado (MEF), que representa la proporción de la variación explicada por la línea $Y = X$, se usó como un indicador de la bondad de ajuste^(16,17). El coeficiente de determinación del modelo (CD) se utilizó para evaluar la varianza de los datos previstos. El factor de corrección de sesgo (Cb), un componente del coeficiente de correlación de concordancia (CCC)⁽¹⁸⁾, se usó como un indicador de la desviación de la línea de identidad, mientras que el CCC es el índice de reproducibilidad que representa simultáneamente la precisión y la exactitud. Se asumió una alta precisión y exactitud cuando los coeficientes eran > 0.80 y una baja precisión y exactitud cuando los coeficientes eran < 0.50 . Finalmente, todos los cálculos se obtuvieron utilizando el Sistema de evaluación de modelos⁽¹⁴⁾.

Los valores promedio, máximo y mínimo para PC y CT se presentan en el Cuadro 1. Se observó que el PC de las ovejas varió de 75.00 a 5.55 kg, mientras que la CT osciló entre 70 y 114 cm. El coeficiente de correlación (r) entre PC y CT fue de 0.93 cm y la ecuación de regresión ajustada fue: $PC = -47.97 (\pm 2.00^*) + 1.07 (\pm 0.022) \times CT$ ($r^2 = 0.86$, RMSE = 3.46, y $n = 366$).

Cuadro 1: Análisis descriptivos de PC (kg) y CT (cm) registrados en ovejas Pelibuey no lactantes y no gestantes

Variables	N	Media \pm DE	Máximo	Mínimo
Desarrollo				
PC, kg	366	45.72 \pm 9.16	75.00	25.55
CT, cm	366	87.55 \pm 7.93	114.00	70.00
Evaluación				
PC, kg	67	33.14 \pm 8.58	62.00	21.44
CT, cm	67	80.37 \pm 7.03	100.00	65.00

PC= peso corporal; CT= circunferencia del corazón; DE= desviación estándar.

La prueba simultánea no pudo rechazar la hipótesis nula de un intercepto igual a cero y una pendiente igual a uno ($P > 0.05$). La ecuación propuesta fue altamente precisa ($R^2 = 0.913$) y exacta ($C_b = 0.996$) con un índice de reproducibilidad de 0.95 (Cuadro 2). Los *MEF* han indicado una mayor eficiencia de predicción con una mayor proporción de la varianza total de los valores observados explicada por los datos previstos (0.91) (Figura 1).

Cuadro 2: Media y estadísticas descriptivas de la exactitud y la precisión de la relación entre valores observados y previstos para el peso corporal al usar la circunferencia torácica en ovejas Pelibuey

Variable ¹	Obs	[Ec. 1]
Media	33.1	36.6
DE	8.58	7.52
Máximo	62	59.0
Mínimo	21.4	21.6
r^2	---	0.913
CCC	---	0.95
C_b	---	0.996
MEF		0.91
CD		1.19
Media		
DE		
Máximo	---	-1.60
Mínimo	---	1.53
Valor de P ($\beta_0 = 0$)	---	0.30
Pendiente (β_1)		
Estimado	---	1.04
EE	---	0.04
Valor de P ($\beta_1 = 1$)	---	0.263

Origen del MSEP, % MSEP

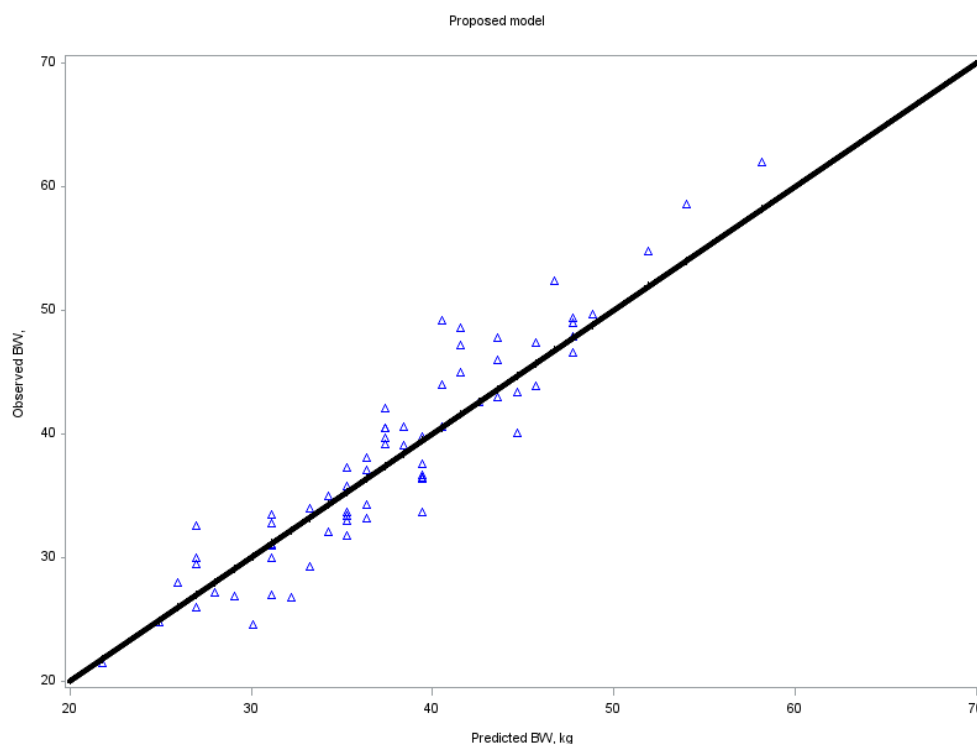
Sesgo de la media	---	0.082
Sesgo sistemático	---	1.93
Error aleatorio	---	98.0

Raíz cuadrada del MSEP

Estimado	---	8.12
% de la media	---	7.61

Obs= grupo de datos de evaluación observada; CCC es el coeficiente de correlación de concordancia; Cb es el factor de corrección del sesgo; *MEF* es la eficacia del modelado; CD es el coeficiente de determinación del modelo; *MSEP* es el cuadrado medio del error de predicción.

Figura 1: Relaciones entre el PC observado y previsto usando CT en ovejas Pelibuey no preñadas y no-lactantes



El CD indicó una variabilidad mediana a baja en los datos previstos (1.19), mientras que la partición del MSEP indicó un sesgo promedio muy pequeño (0.082), que muestra una ligera imprecisión, con la mayoría de los errores concentrados lejos de la media. El sesgo sistemático ha demostrado que solo 1.93 % del error de predicción se asoció con la pendiente, y la mayor parte del error fue explicada por el componente aleatorio que indica sesgos pequeños en las predicciones.

El presente estudio describe una evaluación de la utilidad práctica de la CT para predecir el peso corporal de las ovejas Pelibuey. Bien se han publicado algunos artículos sobre este tema en otras especies y en otras razas de ovejas, en las ovejas Pelibuey no hay informes que evalúen esta relación en condiciones de campo. Además, se ha informado que se debe desarrollar este tipo de modelos para cada raza en las condiciones de manejo y sistema de producción⁽¹⁹⁾. Por otro lado, el uso de ecuaciones empíricas desarrolladas para la predicción del PC y del rendimiento productivo, entre otras cosas, está limitado por la ausencia de una evaluación de su capacidad predictiva con datos independientes utilizados para su desarrollo, lo que dificulta la determinación de su exactitud y precisión⁽¹⁴⁾.

Entre las medidas biométricas (BM) más comunes que se utilizan para predecir el peso corporal, la CC se ha ensayado en novillos⁽⁶⁾, cabras y ovejas^(9,20). En ello hay coincidencia con otros autores, lo que indica que esta BM está altamente correlacionada con el PC en diferentes especies animales⁽⁸⁾. De la misma manera, Yilmaz *et al*⁽⁸⁾ estimaron el PC por medio de la CT en la raza de ovejas Karya y notaron que el r^2 era de 0.63. Además, también se informó⁽¹⁰⁾ que la CT estaba relacionada ($r= 0.79$) con el peso corporal de los corderos Pelibuey.

Bajo condiciones experimentales, Bautista-Díaz *et al*⁽¹¹⁾ encontraron que la CT fue el mejor predictor de PC en las ovejas Pelibuey, en comparación con otras BM ($r^2 = 0.72$). Esto coincide con los resultados obtenidos en otro estudio con ovejas⁽²¹⁾. En otro trabajo⁽²¹⁾, encontraron que la CT estaba altamente correlacionada con el PC ($r= 0.99$ y 0.98 para machos y hembras, respectivamente) en ovejas nilóticas de Sudán. Sin embargo, estos autores obtuvieron una regresión no lineal ($y= ax^b$); las ecuaciones tuvieron valores de r^2 de 0.98 y 0.96 para corderos machos y hembras, respectivamente.

La pequeña varianza alrededor de la pendiente de la ecuación propuesta indica que el PC puede explicarse por la varianza de la CT. La propia CT contribuye al área del cuerpo donde se encuentra la mayoría de los órganos. Parece que la circunferencia torácica de la oveja Pelibuey juega un papel más importante en la determinación del PC que la longitud del cuerpo. Las implicaciones prácticas son que el volumen y el peso de los órganos alojados en la cavidad abdominal pueden ser mejores determinantes de la masa corporal, la cual determina la mayor parte de los requerimientos de nutrientes para el mantenimiento⁽²²⁾.

Además, Kunene *et al*⁽³⁾ informaron que la relación entre la CT y el PC tenía valores r significativos que variaban entre 0.33 y 0.86 en ovejas zulúes (Nguni) pertenecientes a diferentes grupos de edad. Además, declaró que la CT era un predictor más preciso del PC en ovejas zulúes jóvenes (<15 meses), por lo tanto, concluyó que es posible estimar razonablemente el PC en ovejas zulúes usando la CT. Souza *et al*⁽²³⁾ concluyeron que las ecuaciones generadas utilizando la circunferencia del corazón y la longitud del cuerpo pueden emplearse para estimar el peso corporal de ovejas macho y hembras de carne de diferentes razas y edades. Esto coincide con varios autores que han descrito la importancia de la CT en la estimación del PC en ovinos de diferentes razas^(7,9,20).

Por otra parte, en la literatura, existen diferentes enfoques y técnicas para evaluar modelos, según Mayer y Butler⁽¹⁷⁾, las principales técnicas de evaluación se basan en la evaluación subjetiva, los gráficos comparativos, las medidas de desviación (en función de las diferencias entre los valores observados y los valores previstos) y las pruebas estadísticas. En el presente estudio se utilizaron las pruebas y el análisis de los Sistemas de Evaluación de Modelos descritos por Tedeschi⁽¹⁴⁾.

Los parámetros de precisión y exactitud mostraron que la propuesta de la ecuación presentaba una precisión promedio ($R^2= 0.913\%$) y una alta precisión ($C_b= 0.996$) y reproducibilidad ($CCC= 0.95$) para predecir el PC en ovejas Pelibuey no gestantes y no lactantes. El resultado de la eficacia del modelado ($MEF= 0.91$) indica un valor relativamente alto de concordancia entre los valores observados y predijo que, en un ajuste perfecto, podría ser igual a uno. El MEF ha sido reportado como la mejor medida de concordancia entre los valores observados y predichos; sin embargo, con respecto al CD, un ajuste perfecto tendría un valor de uno, si su valor cercano a uno indica una mejora en las predicciones del modelo ($CD > 1$ es un indicador de sub-predicción y $CD < 1$ de predicción). El CD encontrado en el presente estudio fue de 1.19, lo que indica una subestimación del PC con una variación de alrededor del 2 %⁽¹⁴⁾. La RMSEP representó el 9.27 % del PC observado. Con base en los resultados de las evaluaciones estadísticas, el modelo propuesto predice el PC de las ovejas Pelibuey no gestantes y no lactantes con buena precisión y exactitud. Para Tedeschi⁽¹⁴⁾, la evaluación de la adecuación de un modelo solo es posible a través de una combinación de análisis estadísticos de acuerdo con el propósito para el cual el modelo fue conceptualizado y desarrollado. Además, concluyó que la identificación y aceptación de inexactitudes de un modelo es el primer paso en el modelo de evolución para lograr una mayor precisión y más confianza.

Los resultados del presente estudio pueden contribuir a la estimación del peso corporal de las ovejas Pelibuey y esta información puede contribuir a la actualización de los datos para la estimación del PC de algunos parámetros requeridos por los modelos nutricionales con la finalidad de predecir el rendimiento de las razas de ovejas de pelo^(24,25).

Conflictos de interés

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés.

Agradecimientos

Se agradece Dr. José Manuel Piña Gutiérrez, quien permitió usar las instalaciones del Rancho El Rodeo. Asimismo, el apoyo financiero brindado por el Programa de Fomento a la Investigación, a través del proyecto “Eficiencia energética madre/cría en ovinos de pelo” (PFI: UJAT-DACA-2015-IA-02).

Literatura citada:

1. Wishart H, Morgan-Davies C, Stott A, Wilson R, Waterhouse T. Liveweight loss associated with handling and weighing of grazing sheep. *Small Ruminant Res* 2017;153:163-170.
2. Wangchuk K, Wangdi J, Mindu M. Comparison and reliability of techniques to estimate live cattle body weight. *J Appl Anim Res* 2017;46(1):34-352.
3. Kunene NW, Nesamvuni AE, Nsahlai IV. Determination of prediction equations for estimating body weight of Zulu (Nguni) sheep. *Small Ruminant Res* 2009;84:41–46.
4. Sebolai B, Nsoso SJ, Podisi B, Mokhutshwane BS. The estimation of live weight based on linear traits in indigenous Tswana goats at various ages in Botswana. *Trop Anim Health Prod* 2012;44:899-904.
5. Tebug SF, Missohou A, Sabi SS, Juga J, Poole EJ, Tapio M, Marshall K. Using body measurements to estimate live weight of dairy cattle in low-input systems in Senegal. *J App Anim Res* 2016;46(1):87-93.
6. Oliveira AS, Abreu DC, Fonseca MA, Antoniassi PMB. Short communication: Development and evaluation of predictive models of body weight for crossbred Holstein-Zebu dairy heifers. *J Dairy Sci* 2013;96:6697–6702.
7. Sowande OS, Sobola OS. Body measurements of west African dwarf sheep as parameters for estimation of live weight. *Trop Anim Health Prod* 2008;40:433–439.
8. Yilmaz O, Cemal I, Karaca O. Estimation of mature live weight using some body measurements in Karya sheep. *Trop Anim Health Prod* 2013;45:397-403.
9. Boujenane I, Halhaly S. Estimation of body weight from heart girth in Sardi and Timahdite sheep using different models. *Iran J Appl Anim Sci* 2015;5(3):639-646 .
10. Hernández-Espinoza DF, Oliva-Hernández J, Pascual-Córdova A, Hinojosa-Cuéllar JA. Descripción de medidas corporales y composición de la canal en corderas Pelibuey: Estudio preliminar. *Rev Cien* 2012;22:24-31.
11. Bautista-Díaz E, Salazar-Cuytun ER, Chay-Canul AJ, García-Herrera RA, Piñeiro-Vázquez AT, Magaña-Monforte JG, *et al.* Determination of carcass traits in Pelibuey ewes using biometric measurements. *Small Ruminant Res* 2017;147:115–119.

12. AFRC. Energy and protein requirements of ruminants. Agricultural and Food Research Council. CAB International, Wallingford, UK, 1993.
13. SAS 9.3 Software. Institute Inc., Cary, North Carolina, USA. 2010.
14. Tedeschi LO. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agric Sys* 2006;89:225-247.
15. Cochran WG, Cox GM. *Experimental Design*. John Wiley & Sons, New York, NY. 1957.
16. Loague K, Green RE. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *J Contam Hydrol* 1991;7:51-73.
17. Mayer DG, Butler DG. Statistical validation. *Ecol Modell* 1993;68:21–32.
18. Lin LIK. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 1989;45:255-268.
19. Fonseca MA, Tedeschi LO, Valadares-Filho SC, De Paula NF, Silva LD, Sathler DFT. Evaluation of equations to estimate body composition in beef cattle using live, linear and standing rib cut measurements. *Anim Prod Sci* 2017;57:378-390 .
20. Mavule BS, Muchenje V, Bezuidenhout CC, Kunene NW. Morphological structure of Zulu sheep based on principal component analysis of body measurements. *Small Ruminant Res* 2013;111:23-30.
21. Atta M, El khidir OA. Use of heart girth, wither height and scapuloischial length for prediction of liveweight of Nilotic sheep. *Small Ruminant Res* 2004;55:233-237.
22. Ferrell CL, Koong JL, Nienaber JA. Effect of previous nutrition on body composition and maintenance energy costs of growing lambs. *Brit J Nutr* 1986;56:595-605.
23. Souza S, Leal A, Barioni C, Matos A, Morais J, Araújo M, Neto O, Santos A, Costa, R. Utilização de medidas biométricas para estimar peso vivo em ovino. *Arch Latinoam Prod Anim* 2009;17(3,4):61-66.
24. Chay-Canul AJ, Espinoza-Hernández JC, Ayala-Burgos AJ, Magaña-Monforte JG, Aguilar-Pérez CF, Chizzotti ML, *et al*. Relationship of empty body weight with shrunken body weight and carcass weights in adult Pelibuey ewes at different physiological states. *Small Ruminant Res* 2014;117:10-14.

25. Chay-Canul AJ, Magaña-Monforte JG, Chizzotti ML, Piñeiro-Vázquez AT, Canul-Solís JR, Ayala-Burgos AJ, *et al.* Energy requirements of hair sheep in the tropical regions of Latin America. Review. Rev Mex Cienc Pecu 2016;7(1):105-125.