

Desarrollo y evaluación de una ecuación para predecir el peso vivo en novillas cruzadas usando el ancho de cadera

S. Herrera-López¹, R. García-Herrera¹, A.J. Chay-Canul^{1,*},
M. González-Ronquillo², U. Macías-Cruz³, V.F. Díaz-Echeverría⁴,
F. Casanova-Lugo⁴ y A. Piñeiro-Vázquez⁵

¹ División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Ctra. Villahermosa-Teapa, km 25. 86280, Villahermosa, Tabasco, México

² Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Nutrición Animal, Instituto Literario, no. 100, Col. Centro, Toluca, 50000, México

³ Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, Ejido Nuevo León S/N, Mexicali, B.C. 21705, México

⁴ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Zona Maya, Carretera Chetumal-Escárcega, km. 21.5, Ejido Juan Sarabia, C.P. 77960, Othón P. Blanco, Quintana Roo, México

⁵ Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal. Avenida Tecnológico s/n Conkal, Yucatán, C.P. 97345

Resumen

El objetivo del presente estudio fue desarrollar y evaluar una ecuación para predecir el peso vivo (PV) a partir del ancho de cadera (AC) en novillas cruzadas, criadas bajo condiciones de trópico húmedo en México. Se utilizó la información de 500 novillas (PV = 340,2 ± 105 kg, AC = 42,5 ± 9,48 cm y edad = 24 meses) producto del cruce entre Sardo negro, Suizo Americano, Simmental y Brahman para construir el modelo de predicción usando regresión no lineal. El coeficiente de correlación entre el peso vivo y ancho de cadera fue alto ($r = 0,98$; $P < 0,001$), y la ecuación final desarrollada fue: $PV \text{ (kg)} = 0,2615 (\pm 0,0167) * AC^{1,902 (\pm 0,0164)}$ ($P < 0,0001$, $r^2 = 0,97$; Cuadrado Medio del Error = 554,52; Desviación Estándar Residual = 23,55 y $n = 500$). La evaluación de la ecuación se realizó a través del Model Evaluation System utilizando datos de 70 novillas de cruces similares (PV = 282,4 ± 114 kg, AC = 37,94 ± 7,94 cm y edad = 24 meses). La correlación entre los valores de peso vivo observado y predicho fue alta ($r = 0,98$) y se observó una alta coincidencia entre ambos tipos de valores ($H_0: \beta = 0$ y $H_a: \beta = 1$; $P > 0,05$). Los parámetros de precisión y exactitud mostraron que la ecuación presentó una alta precisión ($r^2 = 0,97$), exactitud ($C_b = 0,99$) y reproducibilidad ($CCC = 0,97$); asimismo, tuvo una alta eficiencia predicción ($MEF = 0,96$). La raíz cuadrada del cuadrado medio del error de precisión (RMSEP) representó el 8,11% del peso vivo observado. Se concluye que el ancho de cadera se relaciona altamente con el peso vivo, y consecuentemente, la ecuación desarrollada mostró predecir el peso vivo de novillas cruzadas mantenidas en condiciones de trópico con buena precisión y exactitud.

Palabras clave: Peso vivo, medidas biométricas, novillas tropicales, modelos matemáticos.

Abstract

Development and evaluation of equation to predict live weight in crossbred heifers using hip width

The aim of this study was to evaluate the relationship between body weight (BW), and the hip width (HW) in crossbred heifers ($n = 500$), reared under conditions of humid tropics in Mexico. The relationship bet-

* Autor para correspondencia: aljuch@hotmail.com

<https://doi.org/10.12706/itea.2018.022>

ween the body weight and hip width was estimated using nonlinear regression models. The correlation coefficient between the body weight and hip width was 0.98 ($p < 0.001$). The body weight ranged from 105.00 to 695 kg, while the hip width ranged from 23.00 to 65.50 cm. The correlation coefficient between the body weight and the hip width was 0.98 ($p < 0.001$). The equation was $BW \text{ (kg)} = 0.2615 (\pm 0.0167) * HW^{1.902(\pm 0.0164)}$ ($P < 0.0001$, $r^2 = 0.97$, Mean Square Error = 554.52, Residual Standard Deviation = 2355 and $n = 500$). The evaluation of the equation was assessed with the Model Evaluation System using data obtained from 70 heifers of a similar condition. Linear regression analysis between body weight values observed and predicted showed a high correlation ($r=0.98$) and that the intercept and slope were not different to 0 and 1 respectively ($P > 0.05$), as well as the equation explains 97% of the variance ($r^2 = 0.97$). The parameters of precision and accuracy showed that the equation proposal presented a high precision ($r^2 = 0.97$), accuracy ($C_b = 0.99$) and reproducibility ($CCC = 0.97$). The equation had a high efficiency prediction ($MEF = 0.96$). The root square of the mean square of error of prediction (RMSEP) accounted for 8.11% of the body weight observed. The prediction equation evaluated showed good precision and accuracy to predict the body weight of crossbred heifers. The measurement of hip width can represent an easier option to get to estimate the body weight in this type of animal.

Keywords: Body weight, body measurements, tropical heifers, mathematical models.

Introducción

El peso vivo (PV) de los animales de granja es un rasgo económico importante y de apoyo para la toma de decisiones de manejo y alimentación en las explotaciones, sin embargo, rara vez se mide por los pequeños productores debido a la falta de básculas como consecuencia de los altos costos de su adquisición (Wood *et al.*, 2015; Lukuyu *et al.*, 2016; Tebug *et al.*, 2016). Adicionalmente, se ha reportado que el pesaje, aunque es el método más exacto, es menos preferido por los productores porque es lento, y estresante para los animales (Wangchuk *et al.*, 2017). En condiciones de producción de pastoreo, como generalmente se produce en las regiones tropicales, evaluar el PV de las novillas de reposición se vuelve más complicado porque implica la movilización de los animales a los corrales de manejo, los cuales en muchos casos se encuentran a varios kilómetros, pudiendo representar una merma en el peso del ganado.

La monitorización del crecimiento de las novillas de reposición es una actividad importante para determinar el momento óptimo del manejo del primer servicio, y subsecuentemente, el primer parto; esto sin poner en

riesgo el comportamiento reproductivo y la producción de leche posterior (Dingwell *et al.*, 2006; Bretschneider *et al.*, 2014). En este sentido, se han desarrollado métodos alternos para el control del PV de los animales, los cuales han resultado prácticos, de bajo costo y fácil aplicación para los pequeños ganaderos (Dingwell *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2013; Bretschneider *et al.*, 2014; Pérez-Hernández *et al.*, 2017). Algunos estudios señalan que existe una relación estrecha entre el PV del ganado y sus medidas biométricas (MB) corporales como el perímetro torácico (PT), el ancho de cadera (AC), longitud del cuerpo (LC), altura a la cruz (ALC) y altura al anca (AA); por consiguiente pueden ser usadas para el desarrollo de modelos de predicción del PV en novillas (Heinrichs *et al.*, 1992; Dingwell *et al.*, 2006; Heinrichs *et al.*, 2007; Reis *et al.*, 2008; Coopman *et al.*, 2009; Lesosky *et al.*, 2012; Bretschneider *et al.*, 2014; Lukuyu *et al.*, 2016; Heinrichs *et al.*, 2017; Pérez-Hernández *et al.*, 2017).

Por otro lado, en novillas de reposición de la raza Holstein (Bretschneider *et al.*, 2014) y tropicales cruzadas (Pérez-Hernández *et al.*, 2017) se ha reportado que el AC es una medida indirecta con potencial para ser usada

en la predicción del PV. Sin embargo ha sido poco evaluada (Bretschneider et al., 2014; Pérez-Hernández et al., 2017). Esta medida supone una ventaja sobre otras MB, debido a que resulta más fácil de obtener, involucrando menos manejo del animal, por lo que resulta ser una alternativa útil que puede ser usada fácilmente durante cualquier práctica habitual realizada sobre las novilla, sin necesidad de instalaciones especiales para la sujeción ni el manipuleo de estas (Bretschneider et al., 2014). De hecho, Pérez-Hernández et al. (2017) encontraron que el PV y el AC se correlacionaban positivamente y de manera alta en novillas de reposición cruzadas de *Bos indicus* × *Bos taurus* o solamente de *Bos indicus*, las cuales fueron desarrolladas en condiciones de pastoreo de una región tropical de México. También los autores encontraron que los datos se ajustaron a una ecuación de tipo exponencial para predecir el PV a partir de AC ($Y = aX^b$), las cual explicaba el 95% de la variación del PV. No obstante, esa ecuación se realizó con una cantidad de datos limitada y no fue evaluada con otro grupo de datos independientes, lo cual es necesario para determinar la precisión, exactitud y reproducibilidad. Basado en lo anterior, el objetivo de este estudio fue desarrollar y evaluar un modelo de predicción del PV mediante el uso del AC de novillas de reemplazo cruzadas mantenidas en condiciones de pastoreo del trópico húmedo en el sureste de México.

Material y métodos

Registro de los datos, sitio de estudio, animales y manejo

Los animales incluidos en el presente estudio pertenecían a cuatro unidades de producción ubicados en los estados de Tabasco y Chiapas, en la región sur de México. El clima en esta región es trópico húmedo. Los animales en esas

explotaciones son pastoreados en praderas de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) y de pasto humidícola (*Brachiaria humidicola*), con ninguna suplementación. En total, se utilizaron 570 novillas de reposición cruzadas (*Bos taurus* × *Bos indicus*) de Sardo negro, Suizo Americano, Simmental y Brahman, con diferente grado de encaste en estas razas; 500 novillas fueron usadas para desarrollar el modelo de predicción mientras que las otras 70 novillas se usaron para evaluar y validar el modelo. La edad de las novillas se encontraba en un rango de 3 a 24 meses.

Datos de AC y PV se registraron individualmente para todas las hembras. El AC se midió con una forcípula de 65 cm (Haglof®, Suecia) aplicando la técnica descrita por Bretschneider et al. (2014) y Pérez-Hernández et al. (2017). El PV se tomó subiendo a los animales a una báscula fija de plataforma con capacidad de 1500 kg y precisión de 1 kg (Revuelta, Nuevo León, México).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de SAS 9.3 (SAS Ver. 9.3, 2010). Inicialmente se calcularon estadísticos descriptivos para PV y AC de los datos usados para desarrollar la ecuación y la evaluación, con el procedimiento MEANS. La relación entre el PV y la AC fue analizado con un modelo regresión no lineal usando el procedimiento NLIN, de acuerdo a lo reportado previamente por Bretschneider et al. (2014) y Pérez-Hernández et al. (2017). El coeficiente de correlación (r) entre las variables se determinó con el procedimiento CORR.

La evaluación de la ecuación se realizó con un análisis basado en una metodología descrita previamente por Oliveira et al. (2013), la cual consiste en aplicar regresión lineal entre valores de PV observados y predichos usando el procedimiento REG. Las hipótesis probadas

en la regresión para β_0 fueron $H_0: \beta_0 = 0$ y $H_a: \beta_0 \neq 0$, mientras que para β_1 fueron $H_0: \beta_1 = 1$ y $H_a: \beta_1 \neq 1$. Cuando ambas H_0 (β_0 y β_1) fueron aceptadas ($P > 0,05$) se consideró que la ecuación era apropiada para rededir los valores observados. Los datos atípicos fueron detectados graficando los residuales *estudentizados* contra los valores predichos por la ecuación. Los datos fueron eliminados si el residual *estudentizado* estaba fuera del rango de $-2,5$ a $2,5$. La bondad del ajuste de la regresión fue evaluada por la raíz del cuadrado medio del error (RCME) y el coeficiente de determinación (r^2).

De acuerdo a lo recomendado por Tedeschi (2006), se utilizaron estadísticos adicionales para evaluar la adecuación de los modelos, específicamente para determinar la distancia entre la predicción y su verdadero valor, siendo estos estadísticos la desviación estándar (DE), el cuadrado medio del error de predicción (MSEP) y la raíz del MSEP (RMSEP). Adicionalmente, el sesgo medio (MB), descrito por Cochran y Cox (1957), fue utilizado como una representación de la media de la inexactitud de la ecuación. El factor de eficiencia de modelo (MEF) que representa la

proporción de la variación explicada por la línea $Y = X$, fue utilizado como un indicador de la bondad de ajuste (Loague y Green, 1991; Mayer y Butler, 1993). El coeficiente de determinación del modelo (CD) fue utilizado para evaluar la varianza de los datos predichos. El factor de corrección de sesgo (Cb), un componente del coeficiente de concordancia (CCC; Lin 1989), fue utilizado como un indicador de la desviación de la línea de identidad, mientras CCC como un índice de reproducibilidad, exactitud y precisión. Se asumió un alto grado de exactitud y precisión cuando los coeficientes fueron $>0,80$ y baja exactitud y precisión cuando estos fueron $<0,50$. Por último, todos los estadísticos fueron obtenidos utilizando el paquete "Model Evaluation System" (Tedeschi, 2006).

Resultados

Los valores promedios (\pm DE), mínimos y máximos del PV y el AC de las novillas usadas para el desarrollo y evaluación de la ecuación se muestran en la Tabla 1. La correlación entre PV y AC tuvo un valor $0,98$ ($P < 0,001$). La

Tabla 1. Valores mínimo y máximo del peso vivo (PV) y el ancho de cadera (AC) de novillas de reposición mantenidas en condiciones de trópico húmedo
Table 1. Minimum and maximum values of body weight (BW) and hip width (HW) of replacement heifers kept in conditions of humid tropics

Variable	Descripción	Media	DE	Mínimo	Máximo
Desarrollo (n = 500)					
PV	Peso vivo (kg)	340,25	145,21	105,00	695,00
AC	Ancho de cadera (cm)	42,46	9,48	23,00	65,50
Evaluación (n = 70)					
PV	Peso vivo (kg)	273,64	104,47	136,00	555,00
AC	Ancho de cadera (cm)	37,05	6,89	27,00	54,00

ecuación final tuvo una $r^2 = 0,97$ ($P < 0,001$), siendo la siguiente:

$PV = 0,2615 (\pm 0,0167) \times AC^{1,902 (\pm 0,0164)}$ ($P < 0,0001$; $r^2 = 0,97$; Cuadrado medio del error (CME) = 554,52; Desviación estándar residual (DER) = 23,55 y $n = 500$). La desviación estándar residual (kg) representó el 7 % del PV promedio (Figura 1).

En cuanto a la evaluación, el análisis de regresión entre valores de PV observados y predichos mostró que el intercepto fue 0 ($P = 0,06$) y la pendiente 1 ($P = 0,09$), con una $r^2 = 0,97$ entre variables (Figura 1 y Tabla 2). La correlación entre PV observado y predicho fue alta ($r = 0,98$). Los parámetros de precisión y exactitud mostraron que, la ecuación propuesta presentó una alta precisión ($r^2 = 0,97$), exac-

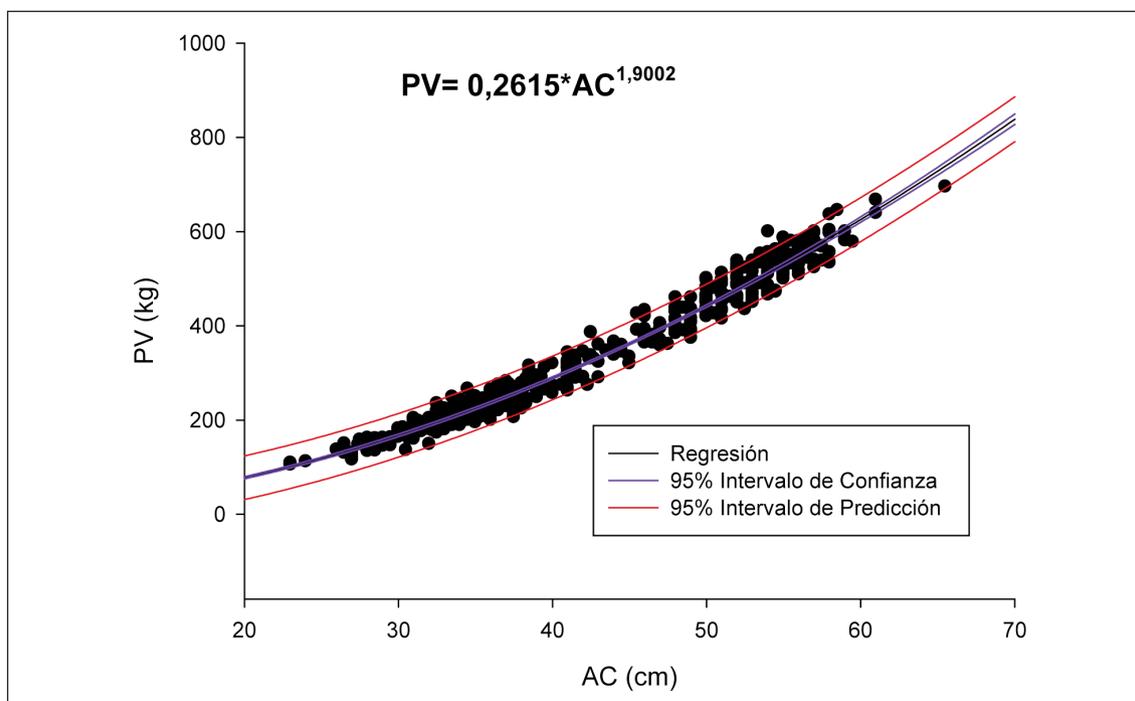


Figura 1. Ecuación para predecir el peso vivo (PV) a partir del ancho de cadera (AC).

$PV = 0,2615 (\pm 0,0167) * AC^{1,902 (\pm 0,0164)}$ ($P < 0,0001$, $r^2 = 0,97$, Cuadrado medio del error = 554,52, Desviación estándar residual = 23,55 y $n = 500$).

Figure 1. Equation to predict the body weight (BW) using the hip width (HW).

$BW = 0.2615 (\pm 0.0167) * HW^{1.902 (\pm 0.0164)}$ ($P < 0.0001$, $r^2 = 0.97$, Mean square error = 554.52; Residual standard deviation = 23.55 y $n = 500$).

titud ($C_b = 0,99$) y reproducibilidad ($CCC = 0,97$) para predecir el PV (Tabla 2). Además, la ecuación tuvo una alta eficiencia de predicción ($MEF = 0,96$). La variabilidad en los datos predichos fue baja ($CD = 1,19$), con un sesgo ($Y-X$) de 9,8; y representó un 20,96% del

MSEP (Tabla 2). El sesgo sistemático sugiere que el 14,08% del error de predicción fue asociado con la pendiente y la mayoría de los errores fueron explicados por el componente aleatorio (64,96%). Finalmente, la RMSEP representó el 8,11% del PV observado.

Tabla 2. Promedios y estadísticos descriptivos de la exactitud y la precisión de la relación entre los valores observados ($n = 70$) y los valores predichos para el peso vivo (PV) en novillas de reposición cruzadas
Table 2. Mean and descriptive statistics for the accuracy and precision of the relationship between the observed ($n = 70$) and the predicted values for the body weight (BW) in replacement crossbred heifers

Variable ¹	Obs	[Eq. 1]
Media	273,63	263,33
DE	104,43	94,90
Máximo	555,00	515,41
Mínimo	136,00	136,20
r^2	—	0,97
CCC	—	0,97
Cb	—	0,99
MEF		0,96
CD		1,19
Análisis de Regresión		
Intercepto (β_0)		
Estimado	—	-12,71
EE	—	668
Valor de P ($\beta_0 = 0$)	—	0062
Pendiente (β_1)		
Estimado	—	109
EE	—	0023
Valor de P ($\beta_1 = 1$)	—	0097
Sesgo medio	—	980
Fuente de MSEP, % MSEP		
Sesgo medio		2096
Sesgo sistemático	—	1408
Error aleatorio	—	6496
Raíz del MSEP		
Estimado	—	2140
% de la media	—	811

¹Obs: Evaluación de valores observados (base de datos independiente); [Eq. 1]: Ecuación 1; CCC: coeficiente de concordancia de la correlación; Cb: factor de corrección de sesgo; MSEP: cuadrado medio del error de predicción; r: Coeficiente de correlación; r^2 : coeficiente de regresión; DE: error estándar de la desviación; MEF: Eficiencia del modelo; CD: coeficiente de determinación del modelo; EE: error estándar.

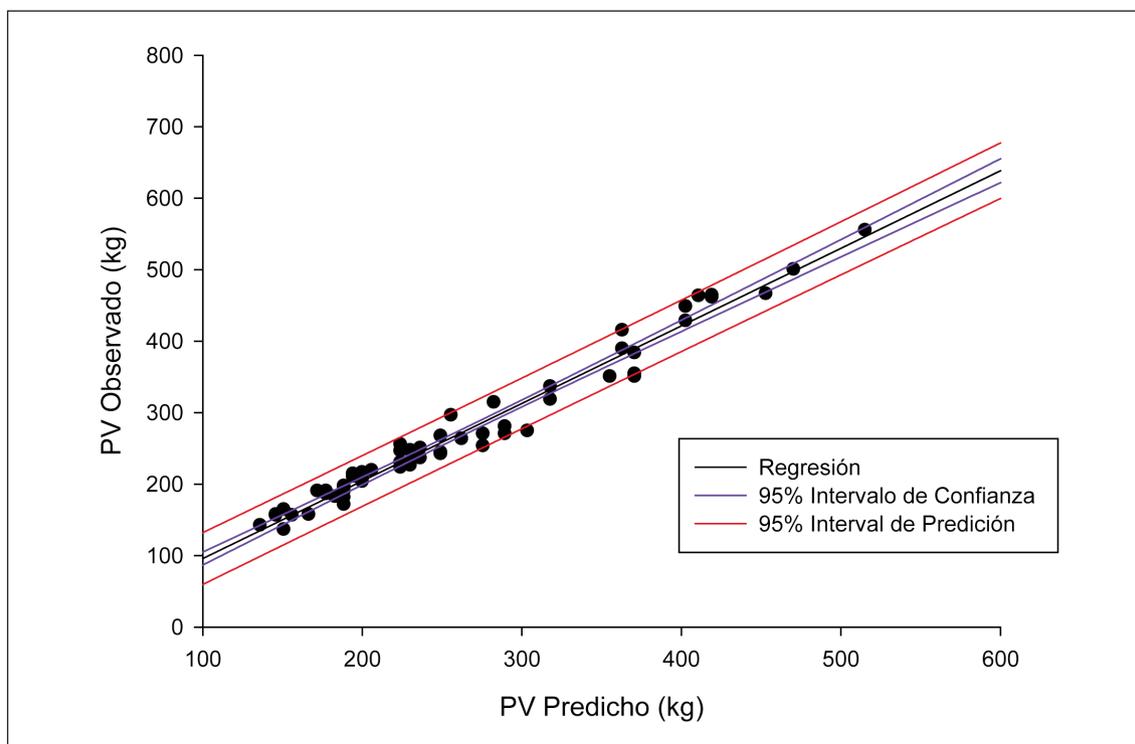


Figura 2. Ajuste da la recta de regresión con los intervalos de confianza y predicción de los valores del peso vivo (PV) observados contra los predichos.

Figure 2. Regression fitted with the confidence and prediction intervals of the predicted and observed live weight (BW).

Discusión

Para la predicción del PV en vacas y novillas cruzadas (Holstein × Cebú) se han utilizado diferentes MB como el perímetro torácico (PT), ancho de cadera (AC), largo del cuerpo (LC), y altura a la cruz (ALTC) y a la cadera (ALTCAD) (Reis *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2013; Mota *et al.*, 2013; Franco *et al.* 2017). Reis *et al.* (2008) reportan que la precisión de la estimación del PV utilizando MB, pueden ser afectadas por la raza, edad, tamaño corporal, condición corporal y estado fisiológico. Franco *et al.* (2017) reportaron un $r=0,88$ y una $r^2=0,83$ entre el PV y AC en novillas Holstein cruzadas; estos autores con-

cluyeron que a pesar de que AC fue altamente correlacionadas con PV, mostró un bajo r^2 con un alto coeficiente de variación en relación a otras variables de MB, tales como LC, ALTC y ALTCAD. No obstante, el presente estudio demostró que la relación entre PV y AC fue alta, con un valor superior ($r = 0,98$ vs. $0,83$) al reportado previamente para vacas Holstein (Franco *et al.*, 2007). De hecho, el modelo desarrollado para novillas de reposición de las cruza *Bos indicus* × *Bos taurus* sugiere que AC explica el 97% de la variación observada en el PV. Consecuentemente, esta estrecha relación entre PV y AC en las novillas de reposición estudiadas sugiere que AC es una MB que puede ser usada para predecir el PV

en el tipo de ganado usado. Estos resultados de r y r^2 coinciden con resultados reportados para novillas Holstein (Bretschneider et al., 2014), así como los encontrados en novillas de reposición de similares características a las empleadas en este estudio (Pérez-Hernández et al., 2017).

En novillas Holstein de reemplazo, Bretschneider et al. (2014) encontraron un valor de $r = 0,97$ y $r^2 = 0,94$ entre el PV y AC, similar al valor encontrado en el presente estudio ($r^2 = 0,95$). Heinrichs et al (1992) también encontraron una alta correlación entre el PV y el AC; aunque estos autores observaron que la predicción del PV basado en el AC se ajustó a un modelo cuadrático.

La ecuación fue $PV \text{ (kg)} = 0,2615 (\pm 0,0167) * AC^{1,902(\pm 0,0164)}$ (Figura 1, $P < 0,0001$; $r^2 = 0,97$; $CME = 554,52$; $DER = 23,55$ y $n = 500$). La DER (kg) representó el 7% del PV promedio. Otros autores al utilizar otras MB para estimar el PV de vacas lecheras en sistemas de bajos insumos en Senegal, reportaron que la r^2 varió de 0,77 a 0,94 y el DER de los modelos desarrollados correspondió entre 9,4 y 12,3% (29,27 a 39,24 kg) del PV promedio de los animales (Tebug et al. 2016). Por su parte, Bretschneider et al. (2014) encontraron que la DER de su modelo correspondió al 5,8% (15,95 kg) del peso vivo promedio.

Posiblemente, el AC mostró ser una buena variable predictora del PV porque es un indicador del desarrollo del tejido óseo de los animales, además esta MB se ubica en el tren posterior, justamente donde se concentra mayor peso corporal del animal (Bretschneider et al., 2014; Pérez-Hernández et al., 2017). Así, si la cadera es más ancha, podría esperarse que soportara una mayor acumulación de músculo y grasa en esta región corporal, favoreciendo positivamente el cambio de PV, tal como la ecuación desarrollada lo sugiere. Por lo tanto, las mediciones anatómicas, como indicadores del tamaño del esqueleto, puede

reflejar el verdadero tamaño de las novillas de reposición, y consecuentemente su PV. Considerado que la medición del AC no requiere de instalaciones específicas o equipo sofisticado, el modelo desarrollado muestra ser una alternativa práctica para llevar un control del PV a nivel de campo en novillas de reposición cruzadas mantenidas en condiciones de producción extensiva en regiones tropicales. Si esta actividad se combina con la evaluación de la condición corporal se podría tener información más precisa del estado nutricional de estas hembras.

En cuanto a la evaluación del modelo, se observó en el análisis de regresión que el intercepto y la pendiente no fueron diferentes a 0 y 1, respectivamente ($P > 0,05$). Siguiendo los criterios de Tedeschi (2006), estos resultados evidencian que el modelo puede ser usado para predecir el PV de novillas de reposición cruzadas. Además, el valor del CCC (Lin, 1989; Nickerson, 1997; Liao, 2003) fue de 0,97, lo cual indica una alta precisión del modelo. También este análisis confirma que el modelo presenta una alta exactitud y reproducibilidad. El sesgo medio (Y-X) y el CD fueron de 9,80 y 1,19, respectivamente, lo que sugiere una ligera subestimación del PV [CD > 1 indica subestimación y D < 1 indica una sobreestimación (Tedeschi 2006)] con una variación de alrededor del 19%. El valor del MEF fue de 0,96 resultando una buena bondad de ajuste del modelo. Por su parte, el MSEP confirmó que una alta proporción del error está asociado con los errores aleatorios (65% del MSEP) del modelo (Tedeschi et al., 2006). Los resultados globales de estos indicadores confirman que la ecuación de predicción del PV para novillas de reposición cruzadas *Bos indicus* × *Bos taurus* puede ser usada con seguridad para estimar el PV de esos animales. Aunque debe tenerse en cuenta, que la ecuación va a funcionar adecuadamente solo si se usa en novillas similares a las de este estudio y mantenidas en condiciones de producción extensivas en trópico. Si

se desea emplear la ecuación en otro tipo de animales, razas o sistemas de producción, primero se debe evaluar su funcionalidad bajo esas condiciones específicas.

Conclusiones

El AC permite predecir con una alta precisión, exactitud y reproducibilidad el PV novillas de reposición de reemplazo mantenidas bajo condiciones de trópico húmedo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Sr. Ever Velasco, al Ing Ever Velasco, al Sr. Herrera y al MVZ Miguel Magaña Núñez, por las facilidades otorgadas para realizar el presente estudio; así como su disponibilidad y su atención hacia nosotros.

Bibliografía

Bretschneider G, Cuatrin A, Arias D, Vottero D (2014). Estimation of body weight by an indirect measurement method in developing replacement Holstein heifers raised on pasture. *Archivos de Medicina Veterinaria* 46: 439-443.

Cochran WG, Cox GM (1957) *Experimental Design*, 2nd. Ed. John Wiley & Sons, New York, NY. 615 pp.

Coopman F, De Smet S, Laevens H.C, Zeveren AV, Duchateau L (2009). Live weight assessment based on easily accessible morphometric characteristics in the double-musled Belgian Blue beef breed. *Livestock Science* 125: 318-322.

Dingwell RT, Wallace MM, McLaren CJ, Leslie CF, Leslie KE (2006). An evaluation of two indirect methods of estimating body weight in Holstein calves and heifers. *Journal of Dairy Science* 89: 3992-3998.

Franco MO, Marcondes MI, Campos JMS, Freitas DR, Detmann E, Valadares-Filho SC (2017). Evaluation of body weight prediction Equations in growing heifers. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 39: 201-206.

Heinrichs AJ, Rogers GW, Cooper JB (1992). Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. *Journal of Dairy Science* 75: 3576-3581.

Heinrichs AJ, Erb HN, Rogers GW, Cooper JB, Jones CM (2007). Variability in Holstein heifer heart-girth measurements and comparison of prediction equations for live weight. *Preventive Veterinary Medicine* 78: 333-338.

Heinrichs AJ, Heinrichs BS, Jones CM, Erickson PS, Kalscheur KF, Nennich TD, Heins BJ, Cardoso FC (2017). Short communication: Verifying Holstein heifer heart girth to body weight prediction equations. *Journal of Dairy Science* 100: 8451-8454. DOI: 10.3168/jds.2016-12496.

Lesosky M, Dumas S, Conradie I, Handel IG, Jennings A, Thumbi S, Toye F, Bronsvoot BMC (2012). A live weight-heart girth relationship for accurate dosing of east African shorthorn zebu cattle. *Tropical Animal Health and Production* 45: 311-316.

Liao JJZ (2003). An improved concordance correlation coefficient. *Pharmaceutical Statistics* 2: 253-261.

Lin, LIK (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45: 255-268.

Loague K, Green RE (1991). Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology* 7: 51-73.

Lukuyu MN, Gibson JP, Savage DB, Duncan AJ, Mujibi FDN, Okeyo AM (2016). Use of body linear measurements to estimate liveweight of crossbred dairy cattle in smallholder farms in Kenya. *SpringerPlus*. 5: 63. DOI:10.1186/s40064-016-1698-3.

Mayer DG, Butler DG (1993). Statistical validation. *Ecological Modelling* 68: 21-32.

Model Evaluation System. By license of Dr. Luis O. Tedeschi; 230 Kleberg Center, TAMU College

- Station, TX 77840. 2012. Disponible en: <https://nutritionmodels.tamu.edu/models/mes/> (Consultado: 22 junio 2017)
- Mota DA, Berchielli TT, Canesin RC, Rosa BL, Ribeiro AF, Brandt HV (2013). Nutrient intake, productive performance and body measurements of dairy heifers fed with different sources of protein. *Acta Scientiarum. Animal Sciences* 35(3): 273-279.
- Nickerson CAE (1997). A note on "A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility". *Biometrics* 53: 1503-1507.
- Oliveira AS, Abreu DC, Fonseca MA, Antoniassi PMB (2013). Short communication: Development and evaluation of predictive models of body weight for crossbred Holstein-Zebu dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 96: 6697-6702.
- Pérez-Hernández F, García-Herrera R, Salazar-Cuytun R, Cruz-Sánchez O, Piñeiro-Vázquez A, Casanova-Lugo F, Magaña-Monforte J, Chay-Canul A (2017). Uso del ancho de cadera para estimar el peso vivo en novillas tropicales de reemplazo. *Revista Agroproductividad* 10(9): 48-52.
- Reis GL, Albuquerque FHMAR, Valente BD, Martins GA, Teodoro RL, Ferreira MBD, Monteiro JBN, Silva MDA, Madalena FE (2008). Predição do peso vivo a partir de medidas corporais em animais mestiços Holandês/Gir. *Ciência Rural* 38: 778-783.
- SAS 9.3 Software. 2010. Institute Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Tebug SF, Missohou A, Sabi SS, Juga J, Poole EJ, Tapio M, Marshall K (2016). Using body measurements to estimate live weight of dairy cattle in low-input systems in Senegal. *Journal of Applied Animal Research* 46: 87-93. DOI: 10.1080/09712119.2016.1262265
- Tedeschi LO (2006) Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems* 89: 225-247.
- Wangchuk K, Wangdi J, Mindu M (2017). Comparison and reliability of techniques to estimate live cattle body weight. *Journal of Applied Animal Research* 46: 349-352. DOI: 10.1080/09712119.2017.1302876
- Wood S, Reyher KK, Barrett DC (2015). Comparison of visual assessment and heart girth tape measurement for estimating the weight of cattle in clinical practice. *The Veterinary Journal* 203: 337-338.
- (Aceptado para publicación el 8 de junio de 2018)