



Short note [Nota corta]

EVALUACIÓN DE UNA ECUACIÓN PARA PREDECIR EL PESO VIVO BASADO EN LA CONDICIÓN CORPORAL EN OVEJAS PELIBUEY[†]
[EVALUATION OF A PREDICTION EQUATION OF BODY WEIGHT BASED ON BODY CONDITION SCORE IN PELIBUEY EWES]

E. Mendoza-Domínguez¹, N. F. Ojeda-Robertos¹, E. R. Salazar-Cuytun², A. J. Chay-Canul^{1*}, U. Macias-Cruz³, A. J. Aguilar-Caballero², S. Medina-Peralta⁴ and L. Vargas-Villamil⁵

¹*División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa, km 25, R/A. La Huasteca 2^a Sección, CP 86280, Villahermosa, Tabasco, México. Email: aljuch@hotmail.com*

²*Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Carr. Mérida-Xmatkuil km 15.5, Apdo. 4-116 Itzimná, CP 97100, Mérida, Yucatán, México.*

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

⁴*Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán, Anillo Periférico Norte, Tablaje Cat. 13615, Colonia Chuburná Hidalgo Inn, CP 97203, Mérida, Yucatán, México.*

⁵*Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Periférico Carlos A. Molina Km. 3.5, Apartado Postal 24, C.P. 86500, Cárdenas, Tabasco, México.*

**Corresponding author*

RESUMEN

El uso del índice de condición corporal (CC), como herramienta para el monitoreo del balance energético y las reservas corporales de las ovejas, implica establecer la relación entre la CC y el peso vivo (PV). El objetivo del estudio fue evaluar una ecuación empírica para estimar el PV en ovejas Pelibuey, no gestantes y no lactantes, la cual fue desarrollada usando un conjunto compuesto por 303 ovejas Pelibuey no lactantes y no gestantes de 2-3 años; con PV promedio de 44.71 ± 9.98 kg y CC de 3.18 ± 1.12 ($PV = 22.47 + 6.90 * CC$). La evaluación se realizó a través de los análisis del Model Evaluation Systems, utilizando un conjunto de datos independientes de PV (37.38 ± 7.71 kg) y CC (2.2 ± 1.10 unidades) obtenidos de 52 ovejas Pelibuey no gestantes y no lactantes. El análisis de regresión lineal entre valores de PV observados y predichos demostró que el intercepto no difirió de cero (0.311 , $P=0.91$) y la pendiente no difirió de uno (0.984 , $P=0.83$). El modelo resultó exacto, el punto (0,1) se encuentra dentro de la elipse; la F conjunta no resultó significativa ($P=0.3477$). La ecuación presentó una precisión media ($R^2 = 0.7924$) y una buena exactitud (factor de corrección de sesgo, $Cb=0.99$). La eficiencia de modelado (MEF = 0.7911) indicó un valor relativamente alto de concordancia entre los valores observados y sus predichos. El coeficiente de correlación de concordancia entre ambos valores fue de 0.89. La RMSEP (raíz del cuadrado medio del error de predicción) representó el 9.27% del PV observado. El modelo de predicción evaluado mostró una buena precisión y exactitud para estimar el PV de ovejas Pelibuey no gestantes y no lactantes con rangos de PV de 26.3 a 75.0 kg criadas en los sistemas de producción del trópico húmedo. Además, el modelo sugiere que se requiere 6.90 ± 0.32 kg de PV para incrementar en una unidad la CC en ovejas Pelibuey de este tipo.

Palabras clave: Modelos matemáticos; ovejas de pelo; ecuación de predicción.

SUMMARY

The use of body condition score (BCS), as a tool for monitoring the energy balance and body reserves of sheep, involves establishing the relationship between BCSC and body weight (BW). The objective of the study was to evaluate a prediction equation for BW of non-pregnant and non-lactating Pelibuey ewes, which was developed using a data set composed by 303 2-3-year-old, non-pregnant and non-lactating Pelibuey ewes with a mean BW of 44.71 ± 9.98 kg and BCS ($BW = 22.47 + 6.90 * BCS$). The evaluation of the equation was assessed with the Model Evaluation Systems using an independent data set of BW (37.38 ± 7.71 kg), and BCS (2.2 ± 1.10 units) obtained from 52 non-pregnant and non-lactating Pelibuey ewes. The linear regression analysis between BW values observed and predicted showed that the intercept did not differ from zero (0.311 , $P = 0.91$) and the slope did not differ from one (0.984 , $P = 0.83$). The model proved accurate, the point (0, 1) is within the ellipse; the point F was not significant ($P = 0.3477$). The equation presented a mean precision ($R^2 = 0.7924$) and a good

[†] Submitted November 11, 2018 – Accepted March 12, 2019. This work is licensed under a [CC-BY 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

accuracy (bias correction factor, $C_b = 0.99$). The modeling efficiency (MEF = 0.7911) indicated a relatively high value of concordance between the observed and predicted values. The concordance correlation coefficient between both values was 0.89. The RMSEP (root mean square error prediction) accounted for 9.27% from BW observed. The predictive model presented a good precision and accuracy to estimate BW of non-pregnant and non-lactating Pelibuey ewes with PV ranges from 26.3 to 75.0 kg reared under production systems of the humid tropic. In addition, the model suggests that 6.90 ± 0.32 kg of BW is required to increase BCS in one unit in this type of Pelibuey ewes.

Keywords: Mathematical models; hair ewes; predictive equation.

INTRODUCCIÓN

La condición corporal (CC) ha sido utilizada como un indicador de las reservas energéticas corporales disponibles, y consecuentemente, como un indicador del estatus nutricional de las ovejas (Caldeira *et al.*, 2007; Kenyon *et al.*, 2014). Adicionalmente, se ha demostrado que existe una relación con el desempeño reproductivo (Caldeira *et al.*, 2007), ya que la presentación y duración del estro, así como la actividad ovárica y la tasa ovulatoria en ovinos de pelo están relacionados con la CC (De la Isla *et al.*, 2010). Otros autores también señalan que, durante los ciclos productivos de las ovejas, es necesario el monitoreo del balance energético y la cuantificación de los cambios en las reservas corporales de energía para lograr una óptima productividad del rebaño (Cannas y Boe, 2003; Cannas *et al.*, 2004; Tedeschi *et al.*, 2010; Díaz-López *et al.*, 2017).

El uso de la CC, como herramienta para el monitoreo del balance energético y las reservas corporales de las ovejas, implica establecer la relación entre la CC y el peso vivo (PV). Sin embargo, algunos métodos para su evaluación solo pueden ser usados en condiciones de laboratorio (Mendizabal *et al.*, 2011), y no en forma práctica de campo, es por lo que el PV y la CC parecen ser los mejores métodos prácticos (Cannas y Boe, 2003; Mendizabal *et al.*, 2011; Montes de Oca de la Cruz *et al.*, 2017).

Esta relación ha sido estudiada en algunas razas de ovejas reportándose diferentes cambios de peso por unidad de CC (PV/CC) (Cannas y Boe, 2003; Cannas *et al.*, 2004; Chay-Canul *et al.*, 2011; Kenyon *et al.*, 2014; Montes de Oca *et al.*, 2017). La variación en los resultados está asociado al PV maduro de cada raza, diferencias en el tamaño corporal, así como el llenado gastrointestinal (Caldeira y Portugal, 2007; Chay-Canul *et al.*, 2011; Kenyon *et al.*, 2014). Por otro lado, si bien existe una ecuación de predicción en ovejas de pelo con rangos de PV de 26.3 a 75.0 kg (Montes de Oca *et al.*, 2017) que relacionan el PV con la CC, es importante evaluarlas mediante el uso de datos independientes, para verificar su precisión y exactitud.

Para la evaluación de un modelo, se comparan sus predicciones y los valores observados del sistema real para determinar su capacidad predictiva (Tedeschi, 2006; Medina-Peralta *et al.*, 2014;

Medina-Peralta *et al.*, 2017), evaluando su exactitud y precisión. La primera se refiere a la proximidad de las predicciones con los valores observados y la segunda a la dispersión de los puntos (Tedeschi, 2006; Medina-Peralta *et al.*, 2014; Medina-Peralta *et al.*, 2017). Aunque se han reportado diferentes técnicas para evaluar modelos para predicción; Tedeschi (2006) reporta que estas pruebas deben ser diseñadas para identificar debilidades del modelo que deben ser abordadas; este autor considera pruebas que incluyen análisis de regresión lineal, análisis de los errores ajustados, coeficiente de correlación de concordancia (CCC), diversas medidas de desviación, cuadrado medio del error de predicción (CMEP), raíz cuadrada del CMEP, análisis no paramétricos y la comparación de la distribución de los datos observados y predichos (Medina-Peralta *et al.*, 2014; Medina-Peralta *et al.*, 2017). Por su parte, Medina-Peralta *et al.* (2014, 2017) señalan que la medida de desviación Coeficiente de Determinación del Modelo (CD) contradice lo observado en los métodos gráficos para un modelo con sesgo constante, y las medidas MEF, CD y el Coeficiente del Error (C) contradicen a los métodos gráficos para un modelo con sesgo proporcional en sus pronósticos; por lo que, recomiendan utilizar ambos métodos para evaluar modelos.

Adicionalmente, dada la importancia de los ovinos Pelibuey en los sistemas de producción de carne del país, resulta de gran relevancia desarrollar ecuaciones que ayuden a predecir el PV en esta raza para la ayuda en la toma de decisiones en los sistemas tropicales de producción ovina. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar una ecuación de predicción del PV basado en la CC en ovejas Pelibuey adultas, no gestantes y no lactantes, mantenidas en condiciones tropicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó una ecuación (Ecuación 1) desarrollada en un estudio previo (Montes de Oca *et al.*, 2017) para predecir el PV de borregas Pelibuey adultas (no gestantes y no lactantes) a partir de la CC. Ecuación 1 ($R^2 = 0.62$, CME = 37.98 y RCME = 6.16; $P < 0.001$).

$$PV = 22.47 + 6.90 * CC \quad (1)$$

Dónde: PV: peso vivo; CC: condición corporal en la escala de 1-5 unidades, Russel *et al.* (1969); R^2 : Coeficiente de determinación; CME: Cuadrado

medio del error; RCME: Raíz cuadrada del cuadrado medio del error; ** P<0.001.

La Ecuación 1 se desarrolló con datos de 303 ovejas con PV promedio de 44.7±10 kg (rango de 26.3 a 75.00 kg) y CC promedio de 3.2±1.0 unidades (rango de 1.0 a 5.0 unidades), mantenidas en condiciones de confinamiento en una región tropical del sureste mexicano (Villahermosa, Tabasco). La alimentación de estas ovejas fue con una dieta integral formulada con 34 % de grano y 66 % de forraje para reunir los requerimientos de mantenimiento (12 MJ kg⁻¹ de materia seca de energía metabolizable y 10 % de proteína cruda (AFRC, 1993). Detalles del manejo pueden ser revisados en Montes de Oca *et al.* (2017).

La evaluación de la capacidad predictiva de la Ecuación 1 se realizó con un conjunto de datos independiente de 52 ovejas con PV promedio de 37.38±7.71 kg (rango de 24.6 a 58.6 kg) y CC= 2.2±1.10 unidades (rango de 1.0 a 5.0 y agrupadas de acuerdo a su CC: CC 1: n= 13; CC 1.5: n= 5; CC 2: n= 11; CC2.5: n= 5; CC 3: n= 10; CC 4: n= 4 y CC 5: n= 4); aunque las ovejas pertenecían al mismo hato comercial (manejadas en confinamiento) y tenían características similares a las de las ovejas utilizadas para el desarrollo de la ecuación; es decir, de raza Pelibuey, adultas, múltiparas, no preñadas, no lactando y con edades entre 2 a 5, ningún registro de estas fue utilizado para el desarrollo de la ecuación. Las ovejas fueron pesadas sin ayuno a las 8:00 am antes de ofrecer el alimento, para esto se utilizó una báscula de plataforma portátil y la CC fue evaluada por dos técnicos empleando la metodología propuesta por Russel *et al.* (1969), donde 1=muy flaca y 5=muy gorda, considerándose para el análisis el promedio de ambas evaluaciones. La dieta con la que se alimentaban las ovejas era la misma que la descrita en la sección anterior (34 % de grano y 66 % de forraje; 12 MJ de EMkg⁻¹ MS y 10 % de PC). A partir de la información recolectada se calcularon los valores predichos de PV usando la Ecuación 1.

Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2010). La evaluación de la Ecuación 1 se realizó basada en la metodología descrita por Tedeschi (2006) y Balam (2012) la cual consistió en aplicar la técnica de regresión lineal de los PV observados (y) en función de los predichos (x). Se utilizó la región de confianza del 95% para el vector de parámetros (β_0, β_1), de modo que si el punto (0, 1) se encuentra dentro de dicha región (elipse) entonces el modelo es exacto. Esta región de confianza es equivalente a la prueba F conjunta para el vector de parámetros con hipótesis nula

$$H_0: \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Para evaluar la precisión se utilizó un Intervalo de Confianza Bootstrap (ICB) del 95% de residuales balanceado método percentil con sesgo corregido acelerado BCa para el coeficiente de determinación R². Adicionalmente, de acuerdo con Tedeschi (2006), se utilizaron estadísticos adicionales para evaluar la adecuación de la Ecuación 1, incluyendo la desviación estándar (DE), el cuadrado medio del error de predicción (CMEP) y la raíz cuadrada del CMEP (RCCMEP), para tener en cuenta la distancia entre la predicción y su verdadero valor. El sesgo medio (MB), descrito por Cochran y Cox (1957), fue utilizado como una representación de la media de la inexactitud de la ecuación. La estadística de la eficiencia de modelado (MEF) que representa la proporción de la variación explicada por la línea y = z, fue utilizado como un indicador de 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 cálculos fueron obtenidos utilizando Model Evaluation System (2012) (<http://nutritionmodels.tamu.edu/mes.htm>; last accessed Julio 30, 2017) (Tedeschi, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La utilización de ecuaciones empíricas desarrolladas para la predicción del PV y comportamiento productivo, entre otros, se ve limitada por la falta de la evaluación de su capacidad predictiva con datos independientes a los que fueron utilizados para su desarrollo, ya que impide conocer su exactitud y precisión (Tedeschi, 2006; Oliveira *et al.*, 2013). En este sentido, el presente trabajo parece ser el primero en evaluar una ecuación para predecir el PV en ovejas Pelibuey usando la CC como variable de predicción y al mismo tiempo verificar si la relación PV/CC, reportada previamente es aceptable, en términos predictivos, en este tipo de raza ovina.

Relación PV/CC

Las ovejas usadas para desarrollar la ecuación (PV= 22.47 + 6.90*CC) presentaron una variación en el PV de 26.3 a 75.0 kg, mientras que en las ovejas empleadas para la evaluación registraron PV entre 24.6 y 58.6 kg (Tabla 1). La CC en ambos grupos de ovejas se ubicó entre 1.0 a 5.0 unidades. El coeficiente de correlación (r) entre el PV y la CC fue de 0.78 en los datos con los que se desarrolló la ecuación, mientras que, en los datos utilizados para la evaluación, el valor de r fue de 0.89.

Tabla 1. Peso vivo (kg), condición corporal y los valores mínimos y máximos en ovejas Pelibuey no gestantes y no lactantes.

VARIABLES	N	Promedio± DE	Máximo	Mínimo
Desarrollo				
PV	303	44.71± 9.98	75.00	26.30
CC	303	3.18± 1.12	5.00	1.00
Evaluación				
PV	52	37.38±7.71	58.6	24.6
CC	52	2.2 ± 1.06	5.00	1.00

PV: Peso vivo; CC: Condición corporal; DE: desviación estándar

La Ecuación 1 evidenció que, en ovejas Pelibuey adultas, no gestantes y lactantes, cada unidad de cambio en la CC equivale a 6.90 ± 0.32 kg de PV. Cabe mencionar que son escasos los reportes de la relación y contribución de CC en la PV, sin embargo, esta cantidad de kilogramos de PV por unidad de CC es ligeramente superior a lo reportado por Chay-Canul *et al.* (2011).

En razas de lana, Kenyon *et al.* (2014) encontraron una conversión de 16 kg de PV por unidad de cambio en la CC. También, McHugh *et al.* (2018) reportaron cambios de peso desde 4.16 a 9.79 kg por unidad de cambio en la CC en ovinos de diferente raza. Esta alta variabilidad en la relación PV vs CC puede deberse a factores como la raza, el contenido del tracto gastrointestinal, estado fisiológico, sexo, edad, tamaño del cuerpo, conformación corporal, peso vivo maduro, distribución de la grasa en el cuerpo, tipo de alimentación y paridad (Caldeira y Portugal, 2007; Chay-Canul *et al.*, 2011; Kenyon *et al.*, 2014; Montes de Oca *et al.*, 2017; McHugh *et al.*, 2018). También, los cambios de PV en las ovejas tienen un costo energético y los cambios en la CC depende del estado fisiológico del animal y su CC actual (CSIRO, 2007; Chay-Canul *et al.*, 2011; Kenyon *et al.*, 2014). Por lo tanto, el conocimiento de la relación PV/CC es importante para determinar la cantidad de energía adicional (MJ de EM o EN) necesarios para aumentar en una unidad la CC en dichos animales (CSIRO, 2007; Chay-Canul *et al.*, 2011; Kenyon *et al.*, 2014; Díaz-López *et al.*, 2017).

Evaluación de la ecuación

La relación observada en el presente trabajo entre el PV y la CC se consideró como alta, y consecuentemente, esto demuestra que el usar a la CC como una variable independiente en el modelo de regresión lineal para ovejas Pelibuey adultas, no gestantes y lactantes es una decisión adecuada. Este hallazgo coincide con reportes de otros estudios donde establecieron la asociación entre PV y CC en ovejas de pelo y lana (Chay-Canul *et al.*, 2011; Kenyon *et al.*, 2014; McHugh *et al.*, 2018).

Del gráfico de valores observados vs predichos junto con la recta 45% (Figura 1), se observa que el modelo ajustado entre dichos valores se encuentra próximo a la exactitud ideal ($Y=X$). De las pruebas inferenciales, el modelo para predecir el PV en función de la CC resultó exacto, el punto (0, 1) se encuentra dentro de la elipse, la F conjunta no resultó significativa ($F=0.1917$, $P=0.3477$), es decir, no se rechaza que el vector de parámetros $(\beta_0, \beta_1) = (0,1)$. (Tabla 2). También, resultó preciso ($R^2=79.24\%$), el límite de confianza superior estimado en el ICB del 95% para el coeficiente de determinación es 85.17 % ($71.74\% \leq R^2 \leq 85.17\%$). Además, la MEF=0.7911 indica un valor relativamente alto de concordancia entre los valores observados con sus predichos (Tabla 2). También se observó que la ecuación propuesta presentó alta exactitud ($C_b = 0.99$) y reproducibilidad ($CCC = 0.89$) para predecir el PV en el tipo de ovejas Pelibuey empleado.

El CD encontrado en el presente estudio fue de 1.2, lo que indica una subestimación del PV con una variación de alrededor del 2 %. El sesgo fue bajo ($CMEP=0.66\%$; Tabla 2). El sesgo sistemático mostró que sólo el 0.098% del error de predicción fue asociado con la pendiente y la mayoría de los errores fueron explicados por el componente aleatorio del modelo (Tedeschi, 2006) (99.24%). La RCCMEP representó el 9.27 % del PV observado. Basados en los resultados de las evaluaciones estadísticas, el modelo propuesto predice el PV de ovejas Pelibuey con buena precisión y exactitud.

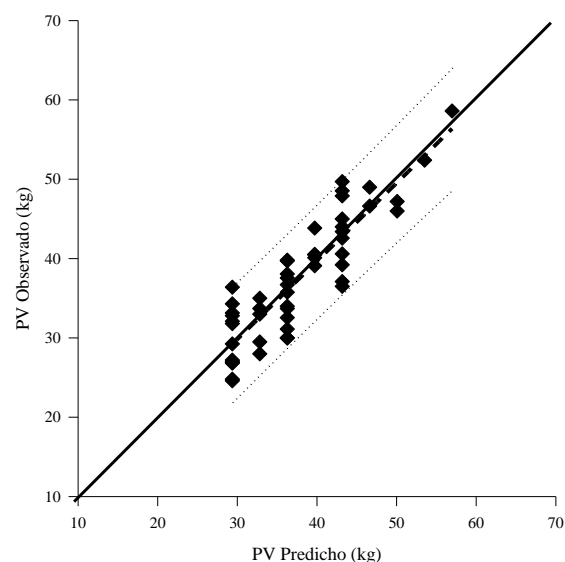


Figura 1. Relación entre los valores observados (y) y predichos (x) del PV de ovejas Pelibuey no gestantes y no lactantes con rangos de PV de 26.3 a 75.0 kg ($PV (kg) = 0.311 (\pm 2.727) + 0.984 (\pm 0.071) * CC$). La línea punteada representa la regresión lineal y la línea sólida es $Y = X$.

En este sentido, de acuerdo a la ecuación probada un animal con CC 5 tendría un peso aproximado de 56.97 kg; sin embargo la ecuación surgió de una base de datos con animales hasta de 75.00 kg, por lo que existió una alta variación de PV para cada valor de CC (1 al 5) en los animales que utilizaron para ajustar el modelo de regresión $PV=22.47+6.90*CC$, además esto se explica por el valor de la varianza estimada ($CME=37.98$) el cual está asociado a la dispersión de los datos alrededor de la recta de regresión ajustada, la cual es grande. En este sentido, la ecuación podría presentar limitaciones para predecir el PV a partir de la CC de ovejas Pelibuey que tengan más de 58 kg. Si bien, se usaron ovejas que pesaban hasta 75 kg cuando se desarrolló el modelo, la cantidad de datos por encima de 60 kg eran pocos y esto puede ser evidenciado con el alto valor que presentó el CME (37.98 kg).

Tabla 2. Promedios y estadísticos descriptivos de la exactitud y la precisión de la relación entre los valores observados ($n=52$) y los valores predichos a partir de la Ecuación 1 para el peso vivo utilizando la condición corporal en ovejas Pelibuey.

Variable ¹	Obs	[Eq. 1]
Media	37.38	37.66
DE	7.71	6.98
Máximo	58.6	56.97
Mínimo	24.6	29.37
R ²	---	0.79
CCC	---	0.89
Cb	---	0.99
MEF	---	0.79
CD	---	1.22
Análisis de Regresión		
Intercepto (β_0)		
Estimado	---	0.311
EE	---	2.727
Valor de P ($\beta_0 = 0$)	---	0.91
Pendiente (β_1)		
Estimado	---	0.984
EE	---	0.071
Valor de P ($\beta_1 = 1$)	---	0.83
Sesgo promedio	---	-0.28
Fuente de CMEP, % CMEP		
Sesgo promedio	---	0.663
Sesgo sistemático	---	0.098
Error aleatorio	---	99.239
Raíz cuadrada del CMEP		
Estimado	---	3.49
% de la media	---	9.27

¹Obs = Evaluación de valores observados (base de datos independiente); CCC: coeficiente de concordancia de la correlación; Cb: factor de corrección de sesgo; CMEP: cuadrado medio del error de predicción; r: Coeficiente de correlación; R²: coeficiente de determinación MSE: error estándar de la desviación; MEF: Eficiencia del modelado CD: coeficiente de determinación del modelo.

Así que una subestimación del PV en ovejas con $CC \geq 5.0$ unidades es esperado cuando las ovejas tengan PV superiores a 58 kg. Aunque, dentro de la raza Pelibuey y en condiciones tropicales, resulta difícil encontrar ovejas que superen los 60 kg de PV, en consecuencia, en la mayoría de los casos la ecuación funcionará adecuadamente.

En el presente estudio solo se utilizó a la CC como variable predictora del PV, debido a la facilidad de registro, además que se considera al PV y la CC como los parámetros usualmente utilizados para el monitoreo de las reservas corporales en ovejas (Macè *et al.*, 2019). También, como se ha mencionado antes es necesario establecer la relación PV/CC por las implicaciones prácticas y de alimentación que representa. Es por ello que el presente estudio sugiere que el modelo desarrollado en el estudio de Montes de Oca *et al.* (2017) para predecir el PV en función de la CC en ovejas Pelibuey no gestantes y no lactantes puede ser usado bajo las condiciones de producción intensivas de la región tropical. Finalmente, es necesario realizar más trabajos sobre la validación de este modelo de predicción del PV en función de la CC en ovejas Pelibuey bajo otros estados fisiológicos y condiciones de producción.

CONCLUSIÓN

Se concluye que el modelo de predicción del PV utilizando la CC como variable independiente presentó una alta precisión y exactitud para estimar el PV de ovejas Pelibuey multíparas no gestantes y no lactantes en sistemas de producción intensiva del trópico húmedo. Por lo tanto, la relación PV/CC de 6.90 kg es válida en ovejas Pelibuey en esta etapa fisiológica con rangos de PV de 26.3 a 75.0 kg.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. José Manuel Piña Gutiérrez por facilitar las instalaciones del rancho "El Rodeo".

REFERENCIAS

- AFRC. 1993. Energy and Protein Requirements of Ruminants, Agricultural and Food Research Council. CAB International, Wallingford, UK, 159 pp.
- Balam, R. 2012. Evaluación de la exactitud y precisión de un modelo con Regresión Lineal. Tesis de Maestría, Facultad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Yucatán.
- Caldeira, R.M., Belo A.T., Santos C.C., Vazques M.I., Portugal A.V. 2007. The effect of body condition score on blood metabolites and hormonal profiles in ewes. *Small Ruminant Research*. 68:233-241.

- <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.08.027>
- Caldeira R.M. and Portugal A.V. 2007. Relationships of body composition and fat partition with body condition score in Serra da Estrela ewes. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*. 20:1108-1114. <https://doi.org/10.5713/ajas.2007.1108>
- Cannas, A. and Boe F. 2003. Prediction of the relationship between body weight and body condition score in sheep. *Italian Journal of Animal Science*. 2:527-529. <https://doi.org/10.4081/ijas.2003.11676065>
- Cannas, A., Tedeschi L.O., Fox D.G., Pell A.N., Van Soest, P. J. 2004. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep. *Journal of Animal Science*. 82:149-169. <https://doi.org/10.2527/2004.821149x>
- Chay-Canul, A. J., Ayala-Burgos A.J., Kú-Vera J.C., Magaña-Monforte J.G., Ferrell C.L. 2011. Metabolizable energy intake and changes in body weight and body condition of Pelibuey ewes fed three levels of roughage diets under tropical conditions. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14:777-786. <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v14i3.1033>
- Cochran, W.G., and Cox G.M. 1957. *Experimental Design*. John Wiley & Sons, New York, NY.
- CSIRO. 2007. *Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Collingwood, VIC, 270 pp.
- De la Isla, H.G., Aké-López J.R., Ayala-Burgos A., González-Bulnes, A. 2010. Effect of body condition and season of the year on estrous cycle, estrous, follicular development and ovulation rate in Pelibuey ewes under tropical conditions. *Veterinaria México*. 41:167-175. <http://veterinariamexico.unam.mx/index.php/vet/article/view/259>
- Díaz-López, G., Salazar-Cuytun R., García-Herrera R., Piñeiro-Vázquez A., Casanova-Lugo F., Chay-Canul A.J. 2017. Relationship between body weight and body condition score with energy content in the carcass of Pelibuey ewes. *Austral Journal of Veterinary Science*. 49:77-81. <http://www.australjvs.cl/ajvs/wp-content/uploads/2017/05/3-Diaz-77-81.pdf>
- Kenyon, P.R., Maloney S.K., Blache, D. 2014. Review of sheep body condition score in relation to production characteristics. *New Zealand Journal Agricultural Research*. 57:38-64. <https://doi.org/10.1080/00288233.2013.857698>
- Lin, L.I.K. 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*. 45:255-268. <https://doi.org/10.2307/2532051>
- Loague, K, and Green R.E. 1991 Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology*. 7: 51-73. https://www.jstor.org/stable/2532051?seq=1#page_scan_tab_contents
- Macé, T., González-García E., Carrière, F., Douls, S., Foulquié, D., Robert-Granié, C., Hazard, D. 2019. Intra-flock variability in the body reserve dynamics of meat sheep by analyzing BW and body condition score variations over multiple production cycles. *Animal*, 1-13. <https://doi.org/10.1017/S175173111800352X>
- Mayer, D.G. and Butler, D.G. 1993. Statistical validation. *Ecological Modelling*, 68:21-32. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(93\)90105-2](https://doi.org/10.1016/0304-3800(93)90105-2)
- McHugh N., McGovern F., Creighton P., Pabiou T., McDermott K., Wall, E., Berry, D.P. 2018. Mean difference in live-weight per incremental difference in body condition score estimated in multiple sheep breeds and crossbreds. *Animal*. 1-5. <https://doi.org/10.1017/S1751731118002148>
- Medina-Peralta S., Vargas-Villamil L., Colorado-Martínez L., Navarro-Alberto, J. 2017. Validation of models with proportional bias. *Revista MVZ Córdoba*. 22(1):5674-5682. <http://dx.doi.org/10.21897/rmvz.927>
- Medina-Peralta S., Vargas-Villamil L., Navarro A.J., Avendaño L., Colorado L., Arjona-Suarez E., Mendoza-Martínez, G. 2014. Validación de modelos con sesgo constante: un enfoque aplicado. *Revista MVZ Córdoba*. 19(2):4099-4108. <http://www.scielo.org.co/pdf/mvz/v19n2/v19n2a06.pdf>
- Mendizabal, J.A., Delfa R., Arana A., Purroy, A. 2011. Body condition score and fat mobilization as management tools for goats on native pastures. *Small Ruminant Research*. 98 (1-3):121-127. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.029>
- Model Evaluation System. 2012. By license of Dr. Luis O. Tedeschi; 230 Kleberg Center, TAMU College Station, TX 77840.
- Montes de Oca de la Cruz, F., Piñeiro-Vázquez A.T., Velázquez Martínez J.R., Mendoza-

- González A., Aguilar-Caballero A.J., Piña-Gutiérrez J.M., Chay-Canul, A.J. 2017. ¿Cuántos kilogramos de peso son necesarios para cambiar la condición corporal en ovejas Pelibuey?. *Agroproductividad*. 10(2):79-81. <http://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/958/817>
- Oliveira, A.S., Abreu D.C., Fonseca M.A., Antoniassi, P.M.B. 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. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6988>
- Russel, A.J.F., Doney J.M., Gunn, R.G. 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *Journal of Agricultural Science*. 72:451-454. <https://doi.org/10.1017/S0021859600024874>
- SAS 9.3 Software. Institute Inc., Cary, North Carolina, USA. 2010.
- Tedeschi, L.O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems*. 89:225-247. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.11.004>
- Tedeschi, L.O., Cannas A., Fox, D.G. 2010. A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and nutrients for domesticated small ruminants: The development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. *Small Ruminant Research*. 89:174-184. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.041>