

MODELOS NO-LINEALES PARA ESTIMAR EL PESO CORPORAL DE OVEJAS PELIBUEY A PARTIR DE MEDIDAS CORPORALES

[NON-LINEAR MODELS TO ESTIMATE THE BODY WEIGHT OF PELIBUEY EWES FROM CORPORAL MEASUREMENTS]

Rafael Macedo-Barragán^{1,2§}, Victalina Arredondo-Ruiz², Carlos Haubi-Segura³, Paola Castillo-Zamora¹

¹Maestría Interinstitucional en Producción Pecuaria, Universidad de Colima, Tecomán, Colima, México.

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Colima, Tecomán, Colima, México.

³Departamento de Ciencias Veterinarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes, Jesús María, Aguascalientes, México §Autor para correspondencia: (macedo@ucol.mx).

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue desarrollar ecuaciones de predicción del peso vivo de ovejas Pelibuey a partir de medidas corporales utilizando modelos no lineales. A una submuestra de 197 ovejas se les determinó el peso corporal (PC), la longitud de grupa (LG), la anchura de grupa (AG), la alzada a la cruz (AC), el perímetro torácico (PT), la anchura de pecho (AP), la profundidad de pecho (PP), el perímetro de caña (PC) y la longitud corporal (LC). Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre el peso las medidas corporales y se generaron ecuaciones de predicción utilizando la medida corporal que mostró la mayor correlación con el peso usando los modelos de regresión no lineal alométrico, crecimiento en saturación, exponencial, gamma incompleta y logístico y adicionalmente, se incluyó el modelo lineal con fines comparativos. Los datos de otra submuestra independiente de 196 ovejas fueron utilizados para validar la ecuación con la mejor bondad de ajuste. El perímetro torácico fue la medida corporal que mostró la mayor correlación con el peso ($R = 0.89$) y los modelos gamma incompleta y exponencial generaron las ecuaciones con el mejor ajuste y precisión: $PC = 0.077 * PT^{1.108} * \exp^{(0.016 * PT)}$ ($R^2 = 0.82$, $ECM = 18.64$) y $PC = 3.5759 * \exp^{(0.0292 * PT)}$, ($R^2 = 0.82$, $ECM = 18.65$) respectivamente.

Palabras clave: Modelo exponencial, modelo gamma incompleta, ovinos de pelo, perímetro torácico, regresión lineal.

ABSTRACT

The objective of the present study was to develop prediction equations for the live weight of Pelibuey ewes from body measurements using nonlinear models. A subsample of 197 ewes, were scored for body weight (BW), rump length (RL), rump width (RW), height at withers (HW), chest girth (CG), chest width (CW), chest depth (CD), cannon bone perimeter (CP) and body length (BL). A Pearson correlation analysis was performed between live weight and body measurements and prediction equations were generated using the body measurement that showed the greatest correlation with weight utilizing allometric, saturation growth, exponential, incomplete gamma, and logistic nonlinear regression models and additionally, the linear model was included for comparative purposes. Data from an independent subsample of 196 ewes was used to validate the equation with the best goodness of fit. Chest girth was the body measurement that showed the highest correlation with the weight ($R = 0.89$) while incomplete gamma and exponential models generated the equations with the best goodness of fit and precision: $BW = 0.077 * CG^{1.108} * \exp^{(0.016 * CG)}$ ($R^2 = 0.82$, $MSE = 18.64$) and $BW = 3.5759 * \exp^{(0.0292 * CG)}$, ($R^2 = 0.82$, $MSE = 18.65$) respectively.

Index words: Exponential model, incomplete gamma model, hair sheep, chest girth, linear regression.

INTRODUCCIÓN

El peso corporal es un elemento de gran importancia en la producción ovina, ya que las decisiones de gestión asociadas a él representan elementos clave para mejorar la productividad y la eficiencia de las unidades de producción (Brown *et al.*, 2015; Wishart *et al.*, 2015). Por lo anterior, éste debe ser determinado con mucha precisión y aunque el uso de básculas es el método más exacto para su medición, en muchos casos los pequeños productores no cuentan con los recursos económicos para su adquisición por lo que su estimación a partir de un método simple, rápido, razonablemente preciso y de bajo costo como es el uso de ecuaciones de predicción basadas en mediciones corporales lineales, constituye una opción viable que permite a los pequeños productores monitorear el crecimiento de sus animales (Kunene *et al.*, 2009, Yilmaz *et al.*, 2011).

Estudios realizados en diversos países y razas de ovinos han desarrollado ecuaciones de predicción del peso a partir de diversas medidas corporales entre las cuales, el perímetro torácico es una de las más utilizadas al mostrar un alto grado de correlación con el peso corporal. Asimismo, prácticamente en todos estos estudios las ecuaciones de predicción se han obtenido utilizando modelos de regresión lineal (Temoso *et al.*, 2017; Abera-Feyissa *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2018; Chay-Canul *et al.*, 2019; Macedo *et al.*, 2019; Worku, 2019) y sólo unos cuantos autores han explorado el uso de métodos de regresión no lineal para predecir el peso de los ovinos (Atta y El khidir, 2004; Boujenane y Halhaly, 2015; Canul-Solis *et al.*, 2020).

Asimismo, no obstante que la raza Pelibuey es una de las más abundantes en los sistemas de producción ovina de México (Vilaboa *et al.*, 2010; Arredondo-Ruiz *et al.*, 2016), pocos estudios han estudiado su morfología y desarrollado ecuaciones de predicción de su peso corporal (Vilaboa *et al.*, 2010, Chay-Canul *et al.*, 2019; Macedo *et al.*, 2019; Mendoza-Sánchez *et al.*, 2019; Canul-Solis *et al.*, 2020), por lo que bajo este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo estimar ecuaciones de predicción del peso corporal de ovinos Pelibuey a partir de medidas corporales en el estado de Colima, México utilizando modelos de regresión no lineal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el estado de Colima localizado en la parte media de la vertiente del Pacífico, entre la derivación de la Sierra Madre Occidental y la estribación de la Sierra Madre del Sur, entre los paralelos 18°41' y 19°39' LN y los meridianos 103°30' y 104°41' LO. Predomina el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual fluctúa entre los 23 °C para la zona norte del estado a los 26.4 °C para zona de la costa, con una precipitación media anual de 1233.4 mm en los municipios de la zona norte y de 801.7 mm en la región costa (INEGI, 2010).

Se estudió una muestra de 393 ovejas, mayores a dos años (determinado por la presencia de cuatro o más incisivos permanentes), los cuales presentaron las características fenotípicas de la raza Pelibuey de acuerdo con los estándares aprobados por la Unión Nacional de Ovinocultores (UNO, 2019). El tamaño de la muestra fue calculado mediante la fórmula propuesta por Scheaffer *et al.* (1996), tomando como base la población ovina del estado de Colima, la cual de acuerdo con el SIAP (2019) es de 22 370 cabezas y se consideró un margen de error máximo permisible del 5%. El muestreo fue de tipo estratificado con asignación proporcional en los 10 municipios que conforman el estado considerando su inventario ovino.

De acuerdo con la metodología propuesta por Herrera y Luque (2009) y Parés (2009), a cada animal se le registró el peso corporal (PC) y las siguientes medidas corporales: longitud de grupa (LG), anchura de grupa (AG), alzada a la cruz (AC), perímetro torácico (PT), anchura de pecho (AP), profundidad de pecho (PP), perímetro de caña (PC) y longitud corporal (LC). El manejo de los animales se apejó a las normas NOM-062-ZOO-1999 y NOM-051-ZOO-1995 (SENASICA, 2019).

La mitad de la muestra (n=197) se sometió a un análisis de correlación de Pearson entre el peso y las medidas corporales con el fin de estimar su grado de relación y se generaron ecuaciones de predicción

utilizando la medida corporal que mostró una mayor correlación con el peso, usando los siguientes modelos de regresión no lineal: alométrico $y = a \cdot x^b$, crecimiento en saturación $y = a \cdot x / (b + x)$, exponencial $y = a \cdot \exp^{(bx)}$, logístico $y = a / (1 + \exp^{(b-c \cdot x)})$ y gamma incompleta $y = a \cdot x^{(b)} \cdot \exp^{(c \cdot x)}$, en donde: y = peso corporal a la medida corporal x; x = medida corporal en cm; a, b y c = parámetros constantes de la ecuación. De manera adicional, considerando su uso extendido y con fines comparativos, se incluyó el modelo lineal $y = a + b(x)$. Para seleccionar la ecuación con el mejor ajuste se utilizó como criterios el mayor valor del coeficiente de determinación (R^2) y el menor valor del error cuadrático medio (ECM).

Posteriormente, los datos de la mitad de las ovejas restante (n=196) se utilizaron para validar la ecuación con la mejor bondad de ajuste. La precisión y exactitud de las predicciones del modelo seleccionado se determinaron por medio de un análisis de regresión lineal entre los pesos observados y los pesos estimados y en análisis de residuos (Tedeschi, 2006; De la Puente, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso corporal de las ovejas se correlacionó significativamente ($p < 0.05$) con todas las medidas corporales siendo el perímetro torácico la medida corporal que mostró la mayor correlación con el peso (Cuadro 1). Lo anterior coincide con numerosos estudios realizados en diversas razas de ovinos (Temoso *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2018; Chay-Canul *et al.*, 2019; Worku, 2019).

Cuadro 1. Correlaciones fenotípicas entre el peso y las medidas corporales de ovejas Pelibuey.

	AG	LG	PT	PC	LC	AC	AP	PP
Peso corporal	0.63*	0.48*	0.89*	0.63*	0.61*	0.59*	0.77*	0.57*

AG = Anchura de grupa; LG = Longitud de grupa; PT = Perímetro torácico; PC = Perímetro de caña; LC = Longitud corporal; AC = Alzada a la cruz; AP = Anchura de pecho; PP = Profundidad de pecho. *P < 0.05.

Los modelos gamma incompleta y exponencial generaron las ecuaciones de predicción del peso corporal de mayor precisión, al mostrar el mayor coeficiente de determinación y el menor valor para el error cuadrático medio. El modelo lineal mostró un ajuste intermedio, mientras que el alométrico mostró el menor ajuste (Cuadro 2).

Cuadro 2. Ecuaciones de predicción para el peso corporal de ovejas Pelibuey de acuerdo con los modelos alométrico, crecimiento saturado, exponencial, logístico y gamma incompleta.

Modelo	Ecuación	Pseudo R^2	ECM
Lineal	$PC = -60.622 + 1.233(PT)$	0.79	21.16
Alométrico	$PC = 0.003 \cdot PT^{2.160}$	0.77	20.28
Crecimiento en saturación	$PC = -31.304 \cdot PT / (-148.07 + PT)$	0.81	19.31
Exponencial	$PC = 3.5759 \cdot \exp^{(0.0292 \cdot PT)}$	0.82	18.65
Logístico	$PC = 252.09 / (1 + \exp^{(4.6486 - 0.0361 \cdot PT)})$	0.79	21.50
Gamma incompleta	$PC = 0.077 \cdot PT^{1.108} \cdot \exp^{(0.016 \cdot PT)}$	0.82	18.64

PC = peso corporal; PT = perímetro torácico; ECM = error cuadrático medio.

El modelo exponencial ha sido muy poco utilizado para modelar el crecimiento de los ovinos a partir de medidas corporales (Canul-Solis *et al.*, 2020), mientras que el modelo gamma incompleta propuesto por Wood (1967), es probablemente el modelo paramétrico más popular y utilizado para modelar la curva de lactancia en diversas especies domésticas (Bouallègue y M'Hamdi, 2020); sin embargo, no se ha utilizado previamente para modelar el crecimiento animal.

Boujenane y Halhaly (2015) estudiaron el uso de modelos no lineales para estimar el peso corporal de ovinos Sardi y Timahdite a partir del perímetro torácico y encontraron que para la raza Sardi y para las hembras de ambas razas el modelo Mitscherlich fue el más apropiado, mientras que para la raza Timahdite y para los machos, el modelo Gompertz fue el mejor junto con el cúbico. Asimismo, Atta y El khidir (2004) y Sowande y Sobola (2008) encontraron que el peso y el perímetro torácico de ovejas Nilotic y West African Dwarf respectivamente, muestran una relación alométrica y en el último de los casos, generan una ecuación de predicción con un coeficiente de determinación (R^2) igual a 0.99. En el presente estudio, el modelo alométrico fue uno de los que mostró el menor ajuste y el modelo Gompertz no mostró convergencia por lo que no fue incluido.

Con respecto a otras ecuaciones de predicción del peso corporal generadas a partir del perímetro torácico usando modelos de regresión lineal, las del presente estudio mostraron un menor ajuste a las desarrolladas por Chay-Canul *et al.* (2019), Souza *et al.* (2009) para ovejas Pelibuey, Santa Inés, Texel, Dorper e Île de France y sus cruzamientos respectivamente y un mayor ajuste a las encontradas por Kunene *et al.* (2009) para ovejas Zulu.

El menor ajuste de las ecuaciones aquí generadas con respecto a las anteriormente señaladas pudo deberse a la variabilidad observada entre las 197 ovejas que conformaron la muestra lo que fue previamente documentado por Arredondo *et al.* (2015), quienes encontraron que junto con la alzada a la cruz y la longitud corporal, el área pectoral (perímetro torácico, anchura de pecho y profundidad de pecho) clasifica a las ovejas Pelibuey del estado de Colima en tres grupos de diferente conformación corporal y aptitud zootécnica. En este sentido, Mahieu *et al.* (2011) indican que las ecuaciones de predicción de peso obtenidas a partir de grupos de animales homogéneos muestran un mayor ajuste.

En comparación con los pesos estimados por los modelos no lineales, el modelo lineal subestima el peso de las ovejas con un perímetro torácico menor a 65 cms en tanto que a valores superiores a este punto de referencia, los tres modelos muestran un ajuste similar (Figura 1).

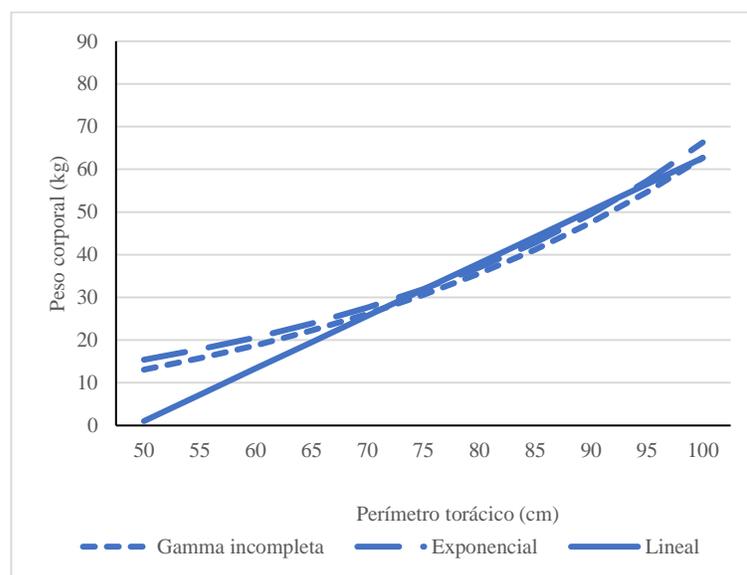


Figura 1. Relación entre el peso corporal y el perímetro torácico de ovejas Pelibuey de acuerdo con los modelos gamma incompleta y exponencial y su comparación con el modelo lineal.

Los modelos se validaron por medio de un análisis de regresión lineal entre los pesos observados y los pesos estimados. Las ecuaciones generadas a partir de los modelos no lineales mostraron un ajuste y precisión similar y ligeramente superior a la generada a partir del modelo lineal (Cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros de la regresión y estadísticos de ajuste y precisión de las ecuaciones de regresión lineal que describen la relación entre el peso de ovejas Pelibuey observado y predicho por los modelos gamma incompleta y exponencial.

	Gamma incompleta	Exponencial	Lineal
Regresión			
Intercepto			
Estimado	4.824	4.569	7.438
Error estándar	1.294	1.301	1.280
P	0.000	0.000	0.000
Pendiente			
Estimado	0.958	0.922	0.850
Error estándar	0.037	0.036	0.035
P	0.000	0.000	0.000
Coefficiente de determinación ajustado (R ²)	0.773	0.774	0.748
Error cuadrático medio (ECM)	19.726	19.648	21.905
Criterio de información de Akaike	588.58	587.80	609.11
Estadístico de Durbin-Watson	1.688	1.679	1.708
Cp de Mallows	2.0	2.0	2.0
W de Shapiro Wilk	0.990	0.991	0.991

Es posible observar que el modelo exponencial predice pesos aproximadamente 7% mayores que el modelo de gamma incompleta. Cabe señalar que los valores estimados por el modelo se encuentran trazados en el eje X mientras y los valores observados en el eje Y debido a que estos últimos presentan variabilidad natural, mientras que los predichos por los modelos no muestran variación aleatoria (Figura 2).

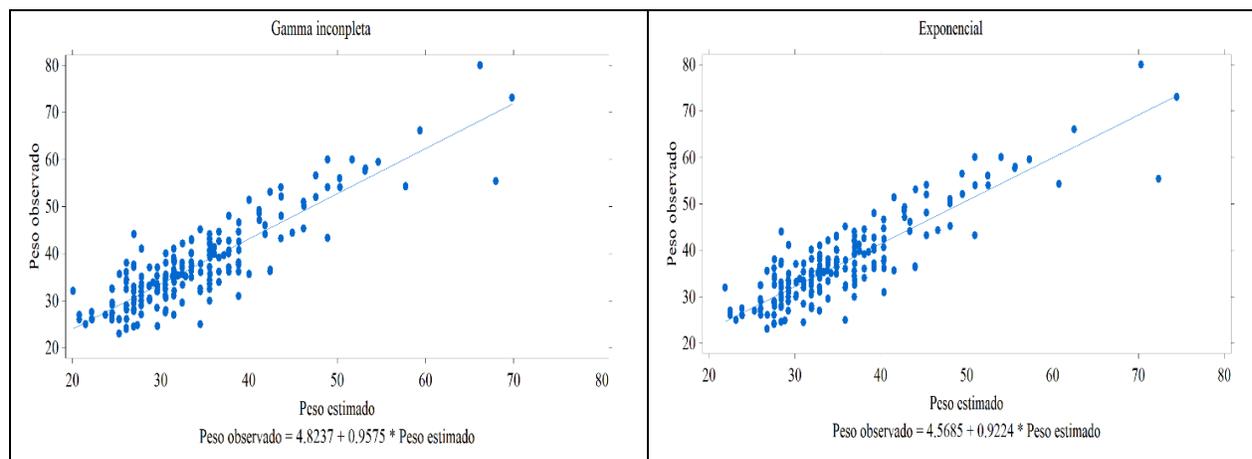


Figura 2. Relación entre los pesos corporales de ovejas Pelibuey observados y estimados con los modelos gamma incompleta y exponencial.

El coeficiente de determinación (R²) es un estadístico útil para determinar la bondad de ajuste de un modelo lineal y se define como la proporción de la varianza que es explicada por la recta de regresión. Ambos modelos mostraron coeficientes similares cuyo valor (0.77) indica un ajuste razonable. El error cuadrático medio es una medida de la calidad de un estimador y mide el promedio de los errores al cuadrado,

es decir, la diferencia entre los valores observados y los estimados por lo que los valores próximos a 0 son deseables. Ambos, modelos mostraron los menores valores y su valor resultado prácticamente similar (De la Puente, 2009). El criterio de información de Akaike es una medida global de la bondad del ajuste del modelo y su cálculo se realiza desde un punto de vista predictivo lo que supone que los modelos seleccionados a partir de este criterio tienen un buen comportamiento respecto a la predicción. La diferencia entre los valores del criterio de información de Akaike de los modelos gamma incompleta y exponencial fue de 0.78, por lo que al ser menor de 2 indica que ambos modelos presentan una bondad de ajuste similar (Akaike, 1998).

El Cp de Mallows es un estimador del error de predicción muy útil y en ambos modelos; éste fue igual a 2, valor similar al número de predictores del modelo más la constante ($p = 2$), lo que indica la ausencia de sesgo y de errores de estimación. Cuando un modelo es adecuado $C_p \approx p$, por lo que se debe optar siempre por el modelo cuyo valor de Cp se ubique más próximo a p y preferentemente sea más pequeño, ya que los modelos con sesgo significativo suelen producir valores del Cp por encima de p, mientras que valores pequeños del Cp se relacionan con errores de estimación menores (Kennard, 1971).

El análisis gráfico de los residuos (diferencia entre los pesos observados y estimados), mostró que éstos se encuentran distribuidos alrededor del cero y no presentan un patrón específico de dispersión, por lo que cumplen con la hipótesis de linealidad e indican homocedasticidad, es decir tienen una varianza constante (Figura 3). El estadístico de Durbin-Watson es una prueba estadística que contrasta la presencia de autocorrelación en los residuos de una regresión y para ambos modelos se ubicó cercano a 2, lo que indica que se cumple con el criterio de independencia y ausencia de autocorrelación (King, 1992). La prueba de Shapiro-Wilks para normalidad correlaciona los cuantiles empíricos de los residuos y los teóricos según una distribución normal por lo que a mayor correlación, más indicios de normalidad para los residuos. El estadístico W de Shapiro-Wilk mostró altas correlaciones para ambos modelos y como es posible observar en la Figura 4, los residuos se alinean con la diagonal y aproximadamente el 68 y el 95% de éstos se encuentran entre -1 y +1, y, -2 y +2 respectivamente.

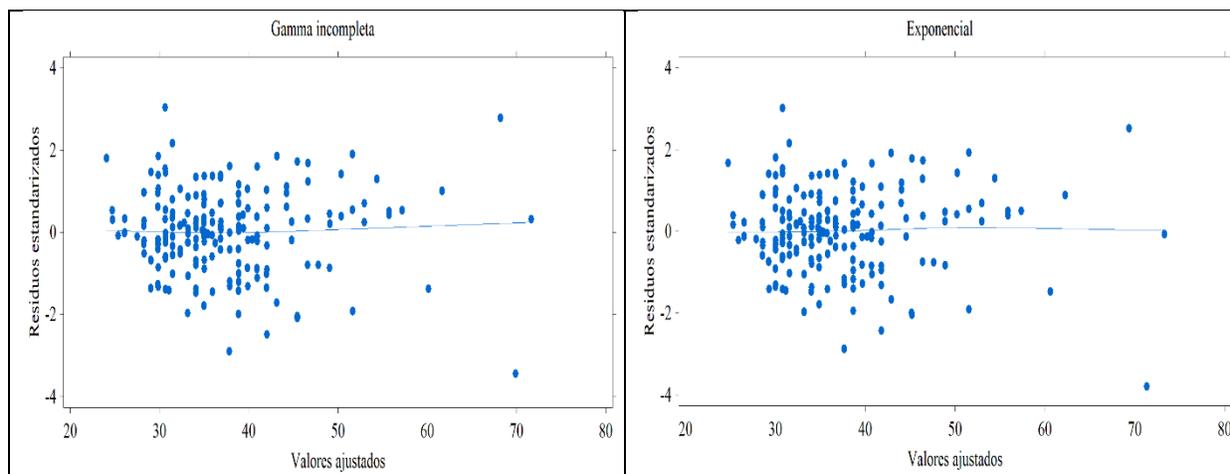


Figura 3. Gráfico de residuos estandarizados contra valores ajustados.

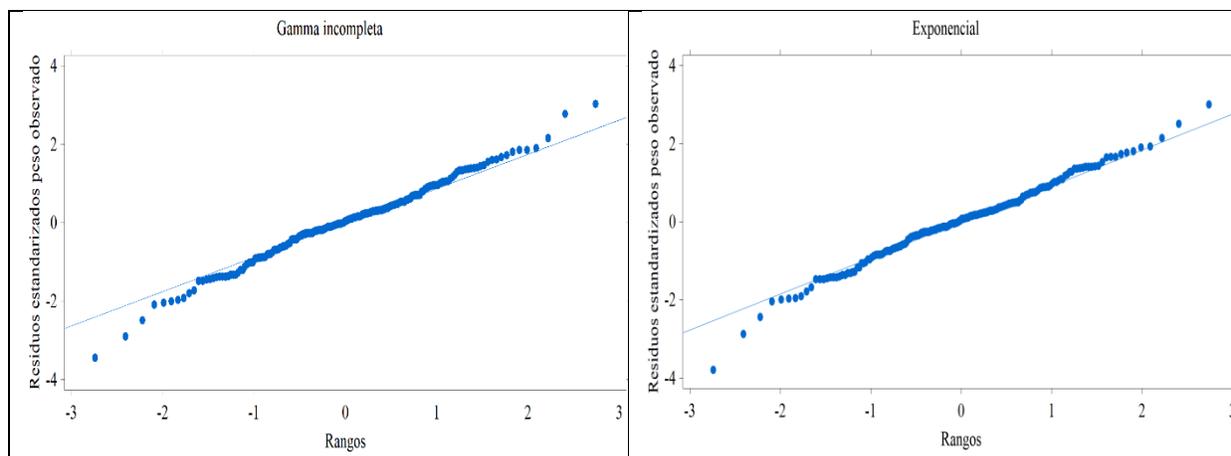


Figura 4. Gráfico de probabilidad normal de los residuos estandarizados.

CONCLUSIONES

Los modelos gamma incompleta y exponencial pueden ser utilizados como alternativa al modelo lineal para predecir el peso corporal de ovejas Pelibuey a partir de su perímetro torácico con una precisión similar y razonable. La metodología y los resultados de este experimento permitirían producir cintas barimétricas para cada raza en específico y así brindarle al productor una herramienta de trabajo simple y eficaz.

LITERATURA CITADA

- Abera-Feyissa, A., K. Kebede-Kefeni and N. Amaha. 2018. Application of body measurements of Blackhead Somali sheep as parameters for estimation of live weight. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 8(4): 647-652.
- Akaike, H. 1998. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Parzen E., K. Tanabe, G. Kitagawa (eds.). *Selected Papers of Hirotugu Akaike*. Springer Series in Statistics (Perspectives in Statistics). Springer, New York, NY. pp. 199-213.
- Arredondo-Ruiz, V., R. Macedo-Barragán, C. Cruz-Estrada, O. Prado-Rebolledo y L.J. García-Márquez. 2016. Caracterización de las unidades de producción ovina de los productores organizados de Colima, México. *Actas Iberoamericanas en Conservación Animal*. 7: 31-36.
- Arredondo, V., R. Macedo, J. Molina, J.C. Magaña, O. Prado y L.J. García. 2015. Análisis multivariado de la variación morfológica de la oveja Pelibuey en Colima, México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*. 5: 87-92.
- Atta, O. and A. El khidir. 2004. Use of heart girth, wither height and scapuloischial length for prediction of liveweight of Nilotic sheep. *Small Ruminant Research*. 55(1-3): 233-237.
- Bouallègue, M. and N.M'Hamdi. 2020. Mathematical modeling of lactation curves: A review of parametric models. In: M'Hamdi, N (ed.). *Lactation in Farm Animals - Biology, Physiological Basis, Nutritional Requirements, and Modelization*. Intechopen, London, UK. pp. 1-20.
- Boujenane, I. and S. Halhaly. 2015. Estimation of body weight from heart girth in Sardi and Timahdite sheep using different models. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 5(3): 639-646.
- Brown, D. J., D. B. Savage, G. N. Hinch, and S. Hatcher. 2015. Monitoring liveweight in sheep is a valuable management strategy: a review of available technologies. *Animal Production Science*. 55: 427-436. <https://doi.org/10.1071/AN13274>
- Canul-Solis, J., J.C. Angeles-Hernandez, R.A. García-Herrera, O.E. del Razo-Rodríguez, H.A. Lee Rangel, A.T. Piñeiro-Vazquez, F. Casanova-Lugo, C. A. Rosales-Nieto, and A. J. Chay-Canul. 2020.

- Estimation of body weight in hair ewes using an indirect measurement method. *Tropical Animal Health and Production*. 52: 2341–2347. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02232-7>
- Chay-Canul, A.J., R.A. García-Herrera, R. Salazar-Cuytún, N. F. Ojeda-Robertos, A. Cruz-Hernández, M. A. Fonseca, and J. R. Canul-Solís. 2019. Development and evaluation of equations to predict body weight of Pelibuey ewes using heart girth. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10(3): 767-777. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4911>
- De la Puente, V.C. 2009. Estadística descriptiva e inferencial y una introducción al método científico. Editorial Complutense S. A. Madrid, España. 337 p.
- Herrera, M., y M. Luque. 2009. Morfoestructura y sistemas para el futuro en la valoración morfológica. En: Sañudo A.C. (ed.). *Valoración Morfológica de los Animales Domésticos*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, España. pp. 79-102.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Colima. Geografía. (Consultado: 15/04/2019). Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s0geo&e006>.
- Kennard, R.W. 1971. A note on the Cp statistic. *Technometrics*. 13: 899-900.
- King, M. L. 1992. Introduction to Durbin and Watson (1950, 1951) Testing for serial correlation in least squares regression. I, II. In: Kotz S., N. L. Johnson (eds.). *Breakthroughs in Statistics*. Springer Series in Statistics (Perspectives in Statistics). Springer, New York, NY. pp. 229-236.
- Kumar, S., S.P. Dahiya, Z.S. Malik, and C.S. Patil. 2018. Prediction of body weight from linear body measurements in sheep. *Indian Journal of Animal Research*. 52: 1263-1266.
- Kunene, N.W., A.E. Nesamvuni, and I.V. Nsahlai. 2009. Determination of prediction equations for estimating body weight of Zulu (Nguni) sheep. *Small Ruminant Research*. 84: 41-46.
- Macedo B.R.J., V. Arredondo, J.A. Hernández, P.E. Castillo y C.A. Gutiérrez. 2019. Ecuaciones de predicción del peso vivo de ovinos Pelibuey a partir de medidas corporales en el estado de Colima, México. En: AMMVEB A. C. (ed.). *XLIII Congreso Nacional de Buiatría*. Veracruz, México. pp. 492-498.
- Mahieu, M., M. Navès and R. Arquet. 2011. Predicting the body mass of goats from body measurements. *Livestock Research for Rural Development* 23(9): 1-10.
- Mendoza-Sánchez, A., R.A. García-Herrera, S. López-Duran, F. Casanova-Lugo, M.J. Arjona-Barrera, A. J. Aguilar-Caballero and A.J. Chay-Canul. 2019. ¿El ancho de cadera puede estimar el peso vivo en ovejas Pelibuey? En: Cetzal-Ix, W., F. Casanova-Lugo, A. J. Chay-Canul, J. F. Martínez-Puc (eds.). *Agroecosistemas Tropicales: Conservación de Recursos Naturales y Seguridad Alimentaria*. Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Chiná-Instituto Tecnológico de la Zona Maya. Campeche, México. pp. 427-431.
- Parés, C.P.M. 2009. Zoometría. *Valoración Morfológica de los Animales Domésticos*. En: Sañudo A.C. (ed.). *Valoración Morfológica de los Animales Domésticos*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, España. pp. 167-198.
- Scheaffer, R.L., W. Mendenhall, W and L. Ott. 1996. *Elementary Survey Sampling*. 5ª ed. Duxbury Press. Belmont, California, U.S.A. 501 p.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2019. Normas oficiales mexicanas en materia de salud animal. Gobierno de México. (Consultado: 15/04/2019). Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/documentos/normatividad-en-materia-de-salud-animal?idiom=es>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2019. Ovino. Población Ganadera. (Consultado: 15/04/2019). Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/412568/Ovino__2017.pdf.
- Souza, S., A. Leal, C. Barioni, A. Matos, J. Morais, M. Araújo, O. Neto, A. Santos y R. Costa. 2009. Utilização de medidas biométricas para estimar peso vivo em ovinos. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 17(3-4): 61-66.
- Sowande, O.S. and O S. Sobola 2008. Body measurements of west African dwarf sheep as parameters for estimation of live weight. *Tropical Animal Health and Production*. 40: 433-439.
- Tedeschi, O. 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems*. 89: 225-247.

- Temoso, O., M. Coleman, D. Baker, P. Morley, L. Baleseng, A. Makgekgenene and S. Bahta. 2017. Using path analysis to predict bodyweight from body measurements of goats and sheep of communal rangelands in Botswana. *South African Journal of Animal Science*. 47(6): 854-863.
- Unión Nacional de Ovinocultores (UNO). 2019. Pelibuey. (Consultado: 15/04/2019). Disponible en: http://uno.org.mx/razas_ovinas/pellybuey.html.
- Vilaboa, A.J., R. Bozzi, R.P. Díaz y L. Bazzi. 2010. Conformación corporal de las razas ovinas Pelibuey, Dorper y Kathadin en el estado de Veracruz, México. *Zootecnia Tropical*. 28: 321-328.
- Wishart, H., C. Morgan-Davis and T. Waterhouse. 2015. A PLF approach for allocating supplementary feed to pregnant ewes in an extensive hill sheep system. In: Guarino, M., D. Berckmans (eds.). *Precision Livestock Farming* 15. Milan, Italy. pp. 256–265.
- Wood, P.D.P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature*. 216: 164-165.
- Worku, A. 2019. Body weight had highest correlation coefficient with heart girth around the chest under the same farmers feeding conditions for Arsi Bale sheep. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*. 5(1): 6-12. <http://dx.doi.org/10.17352/ijasft>
- Yılmaz, A., C. Tepeli, M.E. Tekin, A. Akmaz, M. Garip, E.S. Polat, B. Coşkun and T. Çağlayan. 2011. Determination of live weights and body measurements of Kangal type Akkaraman sheep in producers conditions. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 9: 366-370