

Nota técnica

El área corporal en bovino de engorde está más correlacionada con la longitud corporal que con el peso corporal

P.M. Parés-Casanova*

Departament de Ciència Animal, ETSEA, Universitat de Lleida. Av. Rovira Roure, 191, 25198 Lleida (Cataluña), España

Resumen

En el cuero extraído de 45 terneros de engorde (19 machos y 26 hembras) de diversas razas de aptitud cárnica, en matadero, se estableció por fotogrametría el área, que se interpretó como área corporal ("Body Surface Area", BSA). Los valores de la BSA obtenidos oscilaron de 2,55 a 8,12 m² (CV = 38,5%), presentando un coeficiente de correlación mucho mayor con la longitud corporal ($r_s = 0,736$) que con el peso corporal ($r_s = 0,415$), éste estimado a partir del peso canal caliente. Se estableció la fórmula de estimación simple $BSA \text{ (cm}^2\text{)} = (\text{longitud corporal en cm})^2$, que presentó una correlación altamente significativa con el área real ($r = 0,913$, $p < 0,0001$). Aunque la BSA calculada mediante la fórmula aquí propuesta está subestimada, puesto que la piel de las partes distales y de la cabeza no fueron contempladas, al quedar excluidas del desollado, y además, no es seguro poder aplicar con la misma confianza esta fórmula más allá del tramo etario estudiado (295-396 días), se demuestra que, al menos en el tramo del engorde, es la longitud corporal y no el peso corporal la variable que estima mejor la BSA, siendo la primera variable más fácilmente medible en condiciones de campo por los métodos zoométricos habituales que el peso.

Palabras clave: Alometría, "Bruna dels Pirineus", BSA, cuero.

Abstract

Body surface area in fattening cattle is more correlated to body length than to body weight

Forty-five fattening cattle (19 males and 26 females) have been studied. Skin area was established by photogrammetry techniques, and it was interpreted as a body surface area (BSA). Body weight was estimated from the hot carcass weight. BSA values obtained ranged from 2.55 to 8.12 m² (CV = 38.5%) and they presented a higher significant correlation to body length ($r_s = 0.736$) than to body weight ($r_s = 0.415$). It was established the simple equation $BSA \text{ (cm}^2\text{)} = (\text{body length in cm})^2$, which showed a highly significant correlation with the actual area ($r = 0.913$, $p < 0.0001$). The estimated BSA by the formula proposed here underestimates the real area, since neither the skin of the distal parts and head were included in the skinning. Moreover it must not be applied to animals out of the age range considered (295-396 days). In any way body length is much easier and safer to obtain in the field by the usual zoometric methods than weight.

Keywords: Allometry, "Bruna dels Pirineus", BSA, leather.

* Autor para correspondencia: peremiquelp@ca.udl.cat
<https://doi.org/10.12706/itea.2018.009>

Introducción

El cálculo del área corporal ("Body Surface Area", BSA) es necesario para estudios de adaptación climática (Daniell *et al.*, 2012; Kasabova y Holliday, 2015), farmacológicos (Daniell *et al.*, 2012; Jones *et al.*, 2015; Itoh *et al.*, 2016), metabólicos (Elting, 1926; Berman, 2003; Daniell *et al.*, 2012), de nutrición (Hogan y Skouby, 1923), para la evaluación de quemaduras (Daniell *et al.*, 2012), en veterinaria forense (Henríquez *et al.*, 2013), etc.

El cálculo de la BSA en seres humanos se remonta al siglo XVIII, cuando Abernathy en 1793 midió directamente la superficie de la cabeza, mano y pie con papel de forma triangular (Daniell *et al.*, 2012). La primera ecuación desarrollada para estimar la BSA fue la de Meeh en 1879 (Hogan y Skouby, 1923; Daniell *et al.*, 2012), que incluía el peso vivo, PV, como predictor, y que estaba basada en la proposición euclidiana de que para cuerpos de similar forma, el área de la superficie es proporcional a dos tercios de su volumen (Elting, 1926; Berman, 2003). En la estimación de Meeh, $BSA \text{ (cm}^2\text{)} = K \times (\text{PV en kg})^{2/3}$, donde K es una constante de la forma, cuyo valor difiere entre especies (Jones *et al.*, 2015). Así, la BSA en perros se ha establecido como $BSA = 10,1 \times \text{PV}^{2/3}$, y para gatos $BSA = 10 \times \text{PV}^{2/3}$ (Aiello *et al.*, 2016). La fórmula de Meeh llega a presentar variaciones extremas del 7% en el caso de su uso en humanos (Hogan y Skouby, 1923). Trowbridge, Moulton, y Haigh establecieron en 1915, para ganado vacuno, una constante K de 7,319 a 10,74, dependiendo de la edad y el grado de gordura de los animales (citado en Elting (1926)). En la práctica, esta utilización genérica de estimadores de BSA puede producir estimaciones inexactas para las diferentes especies.

Existen otras fórmulas de estimación diferentes a las de Meeh, como las de Mitchell en 1928 [$0,09 \times \text{PV}^{0,69}$], Brody en 1945 [$0,14 \times \text{PV}^{0,57}$] y Johnson *et al.* en 1961 [$0,235 \times \text{PV}^{0,49}$] (todos

citados en Berman (2003)). La fórmula de Moulton para bovino de engorde es $0,158 \times \text{PV}^{5/8}$, y para otras especies es $0,1186 \times \text{PV}^{5/9}$ (Elting, 1926). Otras fórmulas de otros autores incorporan otras variables. Por ejemplo, la ecuación de Hogan y Skouby (1923), para vacuno, incluye la longitud corporal (Elting, 1926): $BSA = \text{PV}^{0,4} \times (\text{longitud corporal})^{0,6} \times 217$.

El objetivo de esta investigación fue establecer si es el peso corporal o la longitud corporal, o la combinación de ambas, las variables que se correlacionan mejor con la BSA, en el caso de los bovinos de engorde.

Material y métodos

Se trabajó con una muestra de 45 bovinos (19 machos y 26 hembras) de diversas razas de aptitud cárnica –básicamente "Bruna dels Pirineus" y sus cruzados–. Los animales, de una edad comprendida entre los 205 y los 396 días, fueron sacrificados en un matadero frigorífico. Después del desollado, se extendió la piel y se obtuvo una fotografía de toda ella, en la que se incluyó un patrón lineal. Posteriormente, a partir de esta imagen se obtuvo el área corporal y la longitud corporal (distancia medida desde la base de la cola a la cruz) utilizando para ello el paquete informático Digimizer versión 4.6.1 (disponible en www.digimizer.com). Debe destacarse que estos cueros no incluían ni las partes correspondientes a la cabeza ni la cola, ni las partes distales de las extremidades (la sección se hacía a nivel de articulaciones carpo-metacarpiana y tarso-metatarsiana). La piel prepucial y de la ubre sí que se consideraron, puesto que no se separaban del resto de cuero.

Se anotaron el sexo, raza y edad de cada animal a partir de los datos del Documento de Identificación Bovino, así como el peso canal caliente ($\pm 0,1$ kg). El peso vivo se estimó a partir de considerar el rendimiento en un 52,5%

(el rendimiento oscila de un 50 a un 55% en el vacuno pesado español) (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008). Aunque el peso vivo real se estima a partir de un rendimiento teórico (Mckiernan *et al.*, 2007), y posiblemente diferente en diferentes tramos de edad, no se considera una fuente de error puesto que únicamente de lo que se trataba era detectar si existía correlación con el peso, fuese vivo, corporal o en canal.

Se recurrió al paquete estadístico PAST versión 2.17c (Hammer *et al.*, 2001) para el tratamiento de los datos. Se utilizó el test de Shapiro-Wilk para el análisis de normalidades. Puesto que la distribución de los datos no presentó normalidad ($p < 0.05$) se recurrió al uso de tests no paramétricos. Se hizo también necesaria la transformación logarítmica (base 10) de los datos a fin de obtener una mejor estimación de la BSA en el modelo de regresión. Se estableció en el 5% el nivel de confianza.

Los modelos matemáticos son ecuaciones que, entre otras cosas, permiten construir curvas continuas de una variable biológica en función de otra. Las relaciones entre el incremento de una dimensión en función del tiempo, pueden entonces pasar a expresarse mediante curvas generales de crecimiento (Reiss, 1989), que tienen forma sigmoidea, en la que se distinguen una fase de aceleración –caracterizada porque la velocidad de crecimiento es muy rápida y positiva, llegando al máximo en el punto de inflexión de la curva–, una fase de desaceleración –en la que a partir del punto de inflexión la tasa de crecimiento empezará a disminuir–, y una fase lineal final –en la que el animal deja de crecer o el crecimiento puede ser considerado como una mera reposición de tejidos– (Parés-Casanova *et al.*, 2015). Por ello, finalmente, se estudió la relación de la longitud corporal con la BSA mediante uno de estos modelos, concretamente el de von Bertalanffy (Parés-Casanova *et al.*, 2015).

Puesto que los animales se sacrificaron con fines comerciales para su carnización, y por motivos totalmente ajenos al objetivo de esta investigación, no se consideró necesaria la obtención de autorización ética para esta investigación.

Resultados

Los valores reales de la BSA obtenidos oscilaron de 2,55 a 8,12 m² (CV = 38,5%). En la Tabla 1 se exponen los coeficientes r_s de Spearman obtenidos. Como puede observarse, el coeficiente de correlación r_s fue mucho mayor cuando se consideró la longitud corporal como variable independiente ($r_s = 0,736$) que cuando se consideró el peso corporal ($r_s = 0,415$). Los coeficientes de determinación R^2 pasaron de 0,894 y 0,040, para la longitud corporal y el peso corporal, respectivamente por separado, a un 0,889 al utilizar ambas variables. No aportó más ajuste para la estimación de la BSA, pues, incorporar el peso.

Utilizando únicamente la longitud corporal, a partir de la fórmula $y = 10^b x^a$ se pudo establecer la ecuación de estimación: $BSA \text{ (m}^2\text{)} = 10^{-4,430} \times (\text{longitud corporal en m})^{2,143}$, que en un formato de más fácil memorización, si se transforman las unidades (de m² a cm²), podría quedar en la ecuación simple $BSA \text{ (cm}^2\text{)} = (\text{longitud corporal en cm})^2$. En la primera ecuación, al tener el exponente a mayor al esperado según la isometría, consideramos la BSA con una hiperalometría positiva respecto de la longitud corporal, es decir, hay un crecimiento desproporcionadamente alto del área del cuerpo respecto del tamaño (entendido como longitud corporal) (Howland *et al.*, 2004; McGregor, 2016), lo que explica ese rango tan elevado en los valores reales de la BSA obtenidos. En la Figura 1 aparece la recta de regresión entre la superficie corporal (BSA, expresada en cm²) y la superficie estimada a partir de la fórmula $BSA =$

Tabla 1. Coeficientes r_s de Spearman obtenidos ($n = 45$). Los coeficientes estadísticamente significativos (diagonal inferior) aparecen en negrita. Valores p en la diagonal superior. BSA = "Body Surface Area".

Table 1. Obtained Spearman's coefficients r_s ($n = 45$). Statistically significant coefficients (lower diagonal) are shown in bold. p values appear on the upper diagonal values. BSA = "Body Surface Area".

	Edad	Peso corporal	Longitud corporal	BSA
Edad		0,320	0,846	0,927
Peso corporal	-0,151		0,038	0,004
Longitud corporal	-0,029	0,310		0,000
BSA	-0,013	0,415	0,736	

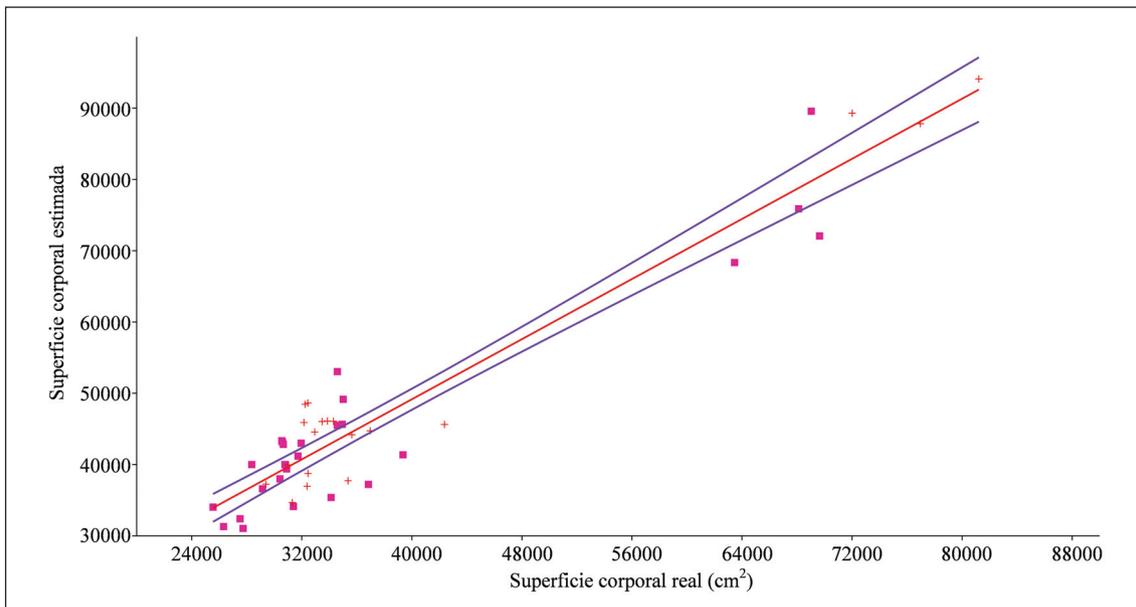


Figura 1. Recta de regresión y límites de confianza de 95% entre la superficie corporal real (BSA, expresada en cm^2) y la superficie estimada a partir de la fórmula $\text{BSA} = (\text{longitud corporal})^2$.

Las cruces indican machos ($n = 19$) y los cuadrados rellenos, hembras ($n = 26$).

Esta regresión presentó una correlación altamente significativa ($r = 0,913$, $p < 0,0001$).
Figure 1. Regression line and 95% confidence limits between the real body surface area (BSA, expressed in cm^2) and the area estimated from the formula $\text{BSA} = (\text{body length})^2$.

Crosses indicate males ($n = 19$) and filled squares indicate females ($n = 26$).

It showed a highly significant correlation ($r = 0.913$, $p < 0.0001$).

(longitud corporal)², que presentó una correlación altamente significativa con la BSA ($r = 0,913$, $p < 0,0001$). El error promedio es del 10,9%, con valores extremos de 0,5 a 21,0%.

En la Figura 2 aparece la relación de la longitud corporal con la BSA mediante un modelo de von Bertalanffy, que corrobora esta ausencia de crecimiento isométrico de la BSA.

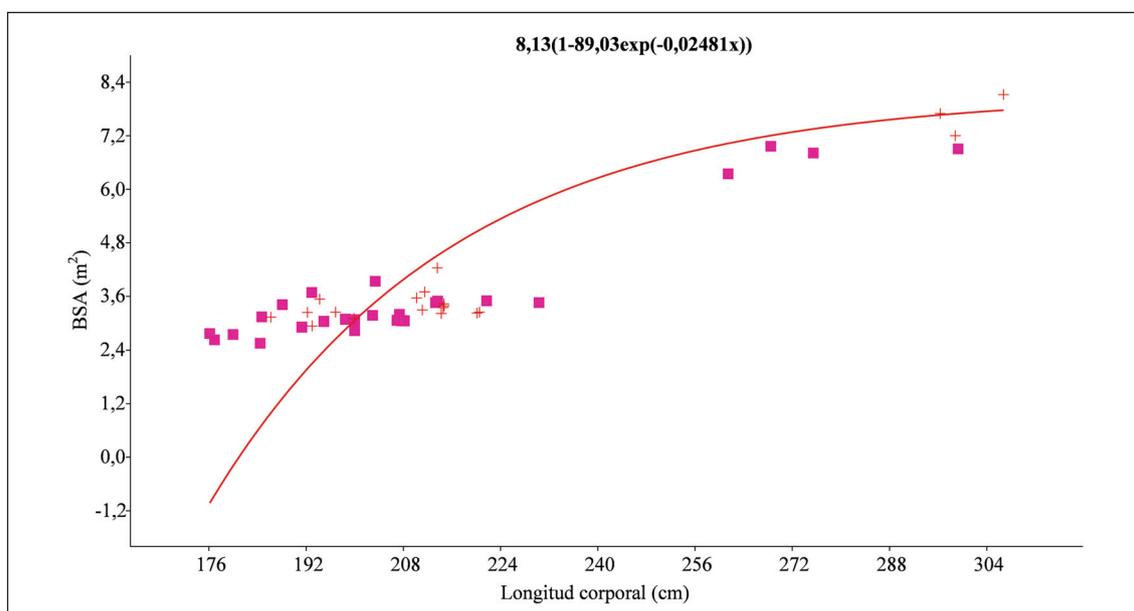


Figura 2. Relación de la longitud corporal con la BSA ("Body Surface Area") mediante el modelo de von Bertalanffy. Las cruces indican machos ($n = 19$) y los cuadrados rellenos, hembras ($n = 26$).

Figure 2. Relationship of body length with BSA ("Body Surface Area") using the von Bertalanffy's model. Crosses indicate males ($n = 19$) and filled squares indicate females ($n = 26$).

Discusión

Tradicionalmente, la BSA ha sido evaluada midiendo físicamente la superficie (por ejemplo, a partir de muestras de piel, por triangulación, usando un rodillo, utilizando moldes sobre cadáver...) (Eltिंग, 1926; Jones *et al.*, 2015; Kasabova y Holliday, 2015; Itoh *et al.*, 2016). Más recientemente, se ha recurrido a la tomografía computerizada, que permite establecer la BSA de manera no invasiva (Jones *et al.*, 2015). Nuestro método está basado en la obtención directa por fotogrametría –y por tanto se espera que muy ajustado a lo real– (Gaudioso *et al.*, 2014). Y a partir

de ello, se aprecia que es la longitud corporal y no el peso corporal la variable que estima mejor la BSA. El comportamiento no isométrico de la BSA, por otro lado, ya ha sido descrito para otras especies, como el caprino (Salehi *et al.*, 2013; McGregor, 2016), y esta falta de isometría restringe el uso de fórmulas genéricas para un tramo de edad fuera del estudiado (205-396 días).

A parte de ser un mejor estimador, la longitud corporal es una variable mucho más segura de obtener en vivo que el peso vivo –que puede estimarse por zoometría lineal, normalmente a partir del perímetro torácico (Aparicio, 1960; MacDonald *et al.*, 2008) (lo

que añade el error de “estimar a partir de una estimación”), pero es difícil e insegura, e incluso peligrosa tanto para el observador como para el animal (McGregor, 2016)–. A ello se añade que el peso depende de la raza, edad, tipo, tamaño, condición y nivel de engorde de los animales (Ozkaya y Bozkurt, 2009), por lo que su estimación puede estar sujeta a mucha variabilidad (MacDonald et al., 2008; Ozkaya y Bozkurt, 2009). Aunque en este trabajo el peso vivo se estimó a partir del rendimiento en canal, ello puede presumirse más ajustado a la realidad que haberlo hecho por métodos zoométricos, puesto que al fin y al cabo el peso caliente de la canal representa un peso corporal individual (Mckiernan et al., 2007).

La fórmula aquí propuesta podría de todos modos adolecer una falta, que sería la subestimación, puesto que la piel de las partes distales y de la cabeza no se consideraron para esta investigación. Una limitación, inherente a la regresión, es que no puede afirmarse que más allá del tramo estudiado tenga validez (hemos visto que la BSA no es isométrica respecto de la longitud corporal). Otros estudios (McDowell et al., 2016), indican que no existe correlación alguna entre la BSA y la longitud corporal, aunque debe tenerse en cuenta que estos autores trabajaron con vacuno adulto (Jersey F1 Sindhi-Jersey), y que se debería calcular la superficie de corporal que representan las extremidades y la cabeza para ajustar la fórmula y comprobar el grado de fiabilidad total de la fórmula presentada.

Conclusiones

Se puede establecer la fórmula de estimación simple $BSA (cm^2) = (longitud\ corporal\ en\ cm)^2$, que presenta una correlación altamente significativa con el área real ($r = 0,913$, $p < 0,0001$), aunque debe tenerse en cuenta que esta fórmula está subestimada, al no contemplar ni

la piel de las partes distales ni de la cabeza, y que es únicamente aplicable en el tramo biométrico estudiado. De todos modos, la conclusión más importante de la presente investigación, pues, no sería la fórmula de estimación *per se*, sino más bien el haber corroborado que al menos en el tramo del engorde en bovino, es la longitud corporal y no el peso corporal la variable que se correlaciona mejor la BSA.

Agradecimientos

El autor agradece las facilidades ofrecidas por el matadero MAFRISEU SA, de la Seu d’Urgell (Lleida, Cataluña), así como de su veterinario responsable, sr. Miquel Àngel Albertón.

Bibliografía

- Aiello SE, Moses MA, Allen DG (2016). The Merck Veterinary Manual, 10th ed. Kenilworth, NJ : Merck & Co., Inc, 3325 pp.
- Aparicio G (1960). Zootecnia Especial. Etnología Compendiada, 4th ed. Imprenta Moderna, Córdoba. 478 pp.
- Berman A (2003). Effects of Body Surface Area Estimates on Predicted Energy Requirements and Heat Stress. *Journal of Dairy Science* 86: 3605-3610. doi:http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73966-6
- Daniell N, Olds T, Tomkinson G (2012). Technical note: Criterion validity of whole body surface area equations: A comparison using 3D laser scanning. *American Journal of Physical Anthropology* 148: 148-155. doi:10.1002/ajpa.22051
- Elting EC (1926). A formula for estimating surface area of dairy cattle. *Journal of Agricultural Research* 33: 269-280.
- Gaudio V, Sanz-Ablanedo E, Lomillos JM, Alonso ME, Javares-Morillo L, Rodríguez P (2014). ‘Photozoometer’: A new photogrammetric system

- for obtaining morphometric measurements of elusive animals. *Livestock Science* 165: 147-156. doi:10.1016/j.livsci.2014.03.028
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. v. 2.17c. *Palaeontología Electrónica* 4: 1-229.
- Henríquez AL, Landaeta-Aqueveque C, Larenas J (2013). Cinética del algor mortis. Primeros pasos para estimar data de muerte en animales. *Archivos de medicina veterinaria* 45: 77-81. doi: 10.4067/S0301-732X2013000100013
- Hogan AG, Skouby CI (1923). Determination of the surface area of cattle and swine. *Journal of agricultural research* 25: 419-432.
- Howland HC, Merola S, Basarab JR (2004). The allometry and scaling of the size of vertebrate eyes. *Vision Research* 44: 2043-2065. doi:10.1016/j.visres.2004.03.023
- Itoh T, Kawabe M, Nagase T, Endo K, Miyoshi M, Miyahara K (2016). Body surface area measurement in laboratory miniature pigs using a computed tomography scanner. *The Journal of toxicological sciences* 41: 637-644. doi: https://doi.org/10.2131/jts.41.637
- Jones KL, Abigail Granger L, Kearney MT, F. da Cunha A, Cutler DC, Shapiro ME, Tully, TN, Shiomitsu K (2015). Evaluation of a ferret-specific formula for determining body surface area to improve chemotherapeutic dosing. *American Journal of Veterinary Research* 76: 142-148.
- Kasabova BE, Holliday TW (2015). New model for estimating the relationship between surface area and volume in the human body using skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology* 156: 614-624. doi:10.1002/ajpa.22678
- MacDonald T, Windsor P, Rast L, Bush R (2008). Using Girth Measurements To Estimate the Live Weight of Cattle. Camden, New South Wales.
- McDowell RE, Lee DHK, McMullan HW, Fohrman MH, Swett WW (2016). Body Weights, Body Measurements, and Surface Area of Jersey and Sindhi-Jersey (F1) Crossbred Females. *Journal of Dairy Science*. 37: 1420-1428. doi:10.3168/jds.S0022-0302(54)91427-7
- McGregor BA (2016). Allometric relationships determined for skin area and fleece production of Angora goats. *Small Ruminant Research* 145: 28-32. doi:10.1016/j.smallrumres.2016.10.018
- Mckiernan B, Gaden B, Sundstrom B (2007). Dressing percentages for cattle. *Prime Facts* 340: 7-9.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008). La clasificación de canales de vacuno pesado. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid. 55 pp.
- Ozkaya S, Bozkurt Y (2009). The accuracy of prediction of body weight from body measurements in beef cattle. *Arch. für Tierzucht* 52: 371-377.
- Parés-Casanova PM, Caballero M, Perezgrovas R (2015). Comparison of non-linear models for describing growth curves according to sex in ovine chiapas breed. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 26: 389-394 doi:10.15381/ri-vep.v26i3.11170
- Reiss MJ (1989). The allometry of growth and reproduction. Ed. Cambridge University Press, Cambridge. 182pp. doi: https://doi.org/10.1017/CBO9780511608483
- Salehi M, Kadim I, Mahgoub O, Negahdari S, Naeeni RSE (2013). Effects of type, sex and age on goat skin and leather characteristics. *Animal Production Science* 54: 638-644.
- (Aceptado para publicación el 20 de febrero de 2018)