



# ÍNDICE DE SELECCIÓN POR PESO AL DESTETE Y FINAL EN PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO DE BÚFALOS EN CUBA

## SELECTION INDEX BY FINAL AND WEANING WEIGHT IN BUFFALO PERFORMANCE TESTS IN CUBA

✉ L.M. FRAGA<sup>1\*</sup>, ✉ O. LÓPEZ<sup>2</sup>, ✉ YENNY GARCÍA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencia Animal, C. Central km 47 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

<sup>2</sup>Empresa Genética Los Naranjos, Carretera Caimito-Vereda, km 4 ½, Artemisa, Cuba

\*E-mail: [luismb48@gmail.com](mailto:luismb48@gmail.com)

Se realizaron pruebas de comportamiento a 241 búfalos machos de la Empresa Pecuaria Genética Los Naranjos, en Cuba, que comprendieron los años 2011/2012 y 2017. Se evaluaron los indicadores peso al destete a los ocho meses, final a los 20 meses de edad, ganancia en peso de ocho a 20 meses, peso por edad a los 20 meses y producción de leche de sus madres a los 244 días, así como los valores porcentuales, calculados a partir de sus medias anuales respectivas. Se utilizó un modelo mixto (ProcGlimmix del SAS 2013), que consideró como efecto fijo el año de entrada en prueba, y como aleatorio el individuo anidado en el año de entrada. Se estimaron los valores genéticos (VG) con su precisión mediante un modelo bicarácter, compilado en IML (Interactive Matrix Language) del SAS. Este consideró la genealogía (250 animales machos y hembras), que unida a las 241 observaciones de animales probados, conformó una matriz de parentesco de 491 individuos. Los pesos al destete (136.43 y 151.92 kg) y final (285.39 y 333.35 kg) estuvieron bajos, mientras que la producción de sus madres fue aceptable (944.04 y 1135.42 kg). Se concluye que el índice de selección, construido a partir de las varianzas y covarianzas de los valores genéticos y fenotípicos ponderados económicamente como regresión de las desviaciones observadas de sus medias del peso al destete y final, es un método confiable para la selección de los búfalos en las pruebas de comportamiento.

**Palabras clave:** búfalos, índices, pesos vivos, pruebas comportamiento

Performance tests were carried out on 241 male buffaloes from the Empresa Pecuaria Genética Los Naranjos, in Cuba, during the years 2011/2012 and 2017. The evaluated indicators were weight at weaning at eight months, final weight at 20 months of age, weight gain from eight to 20 months, weight per age at 20 months and milk production of their mothers at 244 days, as well as the percentage values, calculated from their respective annual means. A mixed model was used (Proc Glimmix of SAS 2013), which considered the year of entry into testing as a fixed effect, and the individual nested in the year of entry as random effect. The genetic values (GV) with their precision were estimated using a two-character model, compiled in IML (Interactive Matrix Language) of SAS. This considered genealogy (250 males and females), which, together with the 241 observations of tested animals, formed a kinship matrix of 491 individuals. Weaning (136.43 and 151.92 kg) and final (285.39 and 333.35 kg) weights were low, while the production of their mothers was acceptable (944.04 and 1,135.42 kg). It is concluded that the selection index, constructed from the variances and covariances of phenotypic and genetic values, economically weighted as a regression of the observed deviations from their means of weaning and final weight, is a reliable method for the selection of buffaloes in performance tests.

**Keywords:** buffaloes, indexes, live weights, performance tests

### Introducción

Los índices de selección han demostrado que constituyen una manera altamente precisa de conducir la selección animal, al contemplar varios caracteres. De esta forma se

toma en cuenta la relación entre todos los caracteres, que considera sus valores genéticos y pesos económicos, para mejorar simultáneamente un grupo de caracteres en diferentes especies. El objetivo fundamental de la selección es mejorar el valor económico total o genotipo agregado (H) de la

Recibido: 25 de agosto de 2023

Aceptado: 29 de diciembre de 2023

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

**Declaración de contribución de autoría CRediT:** L.M. Fraga: **Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Análisis formal, Redacción - borrador original.** O. López: **Curación de datos, Investigación, Análisis formal.** Yenny García: **Curación de datos, Investigación, Análisis formal.**



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



población, que se define para cada animal como la suma de cada uno de los genotipos para los caracteres que se seleccionaron, ponderando cada uno por su valor económico relativo (Hazel y Lush 1942 y Hazel 1943). Actualmente, para conformar los índices se usa el procedimiento de los componentes principales con los valores genéticos, como lo han aplicado Bignardiet et al. (2012) y Khan et al. (2013). En Cuba lo han empleado también Hernández y Ponce de León (2018, 2020).

Actualmente, el programa de mejoramiento genético de búfalos en el país se basa en las evaluaciones genéticas de las madres para la producción de leche y en los resultados de las pruebas de comportamiento de los machos en pastoreo. Los machos que entran a pruebas de comportamiento provienen de las mejores madres para producción de leche. Las pruebas de comportamiento son evaluaciones del crecimiento de los machos (buceros) de diferentes rebaños, de una misma empresa, a partir del destete hasta los ocho meses, y se extienden durante un año en condiciones de pastoreo. Al finalizar la prueba, se dictaminan los mejores animales para futuros sementales, atendiendo a su crecimiento y a la producción de leche de sus madres durante la lactancia en términos porcentuales, ambos ponderados respectivamente (60:30) según Mitat et al. (2010).

Los métodos de selección que consideran la producción de leche vacuna han evolucionado en los últimos 100 años (Weigel et al. 2017), aunque menos en la especie bubalina, en la cual la producción de carne comienza a tener particular interés, además de la leche, debido a su productividad y rentabilidad, lo que ha sido señalado por Ranjhan (2004) al referirse a la producción comercial mundial, y más recientemente por García et al. (2017) en lo que a Cuba respecta. De acuerdo con Mrode y Thompson (2005) y Miglior et al. (2017), la mayor parte de los índices de selección en el mundo se concentran en el incremento de la producción de leche y sus constituyentes, siendo en menor medida los que se centran en la producción cárnica. Según refieren los autores citados, esta realidad se aplica a la mayor parte de los países, excepto para Escandinavia, cuyos índices de selección incluyen además la conformación. El catálogo ANASB (2020a) es una muestra del método empleado en Italia para la producción bubalina en el país, dirigido específicamente a patas, sistema mamario, leche, grasa, proteína y rendimiento.

Se han encontrado mejoras en todos los caracteres cuando se usan los índices, pero en rasgos de crecimiento han sido menos empleados, y mucho menos en búfalos, a pesar de que algunos rasgos de crecimiento predestete y postdestete han demostrado posibilidad de mejora genética. La elección y el uso de los índices se ha recomendado en la especie bubalina (Ramos y Fraga 2008). Específicamente en Colombia, Agudelo et al. (2016) la han preconizado, al igual

que Taheri y De Seno (2016) en Irán. Endris (2020) la han aplicado en Etiopía, y en Italia el catálogo ANASB (2020b) es una evidencia de su uso. No obstante, esta metodología se emplea poco, debido a que una gran parte de la población bubalina se encuentra en manos de pequeños productores con bajos recursos y poca o ninguna aplicación de las tecnologías de manejo y selección genética (Reggeti 2004). Este importante método depende en la práctica de la definición de los objetivos de la selección, así como de la factibilidad de medir los criterios de selección a emplear y del control económico por parte de los productores.

El objetivo de este estudio fue describir la evolución de los indicadores que se han producido en la especie bubalina durante un período de seis años en una empresa en Cuba, y a partir de esta información construir un índice para la selección de los búfalos en las pruebas de comportamiento.

## Materiales y métodos

Se tomó la información de la Empresa Pecuaria Genética Los Naranjos, en Cuba, proveniente de pruebas de comportamiento realizadas a búfalos en pastoreo de *Cynodon nlemfuensis*, a razón de 0.6 a 1.0 animales/ha, durante 12.72 meses como promedio. Se sometieron a dichas pruebas los animales que, en tres ocasiones, durante la campaña de nacimiento, tuvieron buenos pesos al destete y procedían de madres que fenotípicamente tenían mayores producciones de leche durante los años de nacimiento (entre 2011 y 2017), para un total de 241 individuos. Esta base de datos registra los indicadores peso al destete a ocho meses (PD), peso final (PF) a 20 meses, ganancia de peso diaria (GPD) 8-20 meses, peso por edad (PPE) y producción total de leche de sus madres (PLM) a 244 días de lactancia, así como sus valores porcentuales en relación con la media de cada año.

Se utilizó el modelo mixto SAS (2013) con el Proc GLIMMIX (Wolfinger y O'Connell 1993 y Schabenberger 2006) para procesar las medidas de PD, PF, GDP, PPE y PLM después de identificar con el Proc SEVERITY la distribución más ajustada a los datos, que resultó la gamma, y uso del link log. Se usó el Proc IML del SAS (2013) con un programa desarrollado a partir del procedimiento indicado por Duangjinda (2007) y Elzo y Vergara (2007) para la obtención de los valores genéticos o capacidad de transmisión predicha (VG/PTA) de un modelo bicarácter (peso al destete y peso vivo final) con su precisión, con una matriz de parentesco conformada por la genealogía (35 padres y 215 madres) y las 241 observaciones de animales probados, que conformaron una matriz de parentesco de 491 individuos, obtenida con la aplicación del Proc INBRED del SAS (2013). Como efecto fijo en ambos procedimientos (Glimmix y bicarácter), se tomó al año de entrada la prueba de comportamiento, que tuvo seis niveles

correspondientes a los años 2011 y 2012 hasta 2017 (unidos debido a la insuficiente información del primer año).

Las diferencias entre medias de los efectos fijos de año se estimaron por Kramer (1956). Con estos objetivos se empleó en el Glimmix el modelo mixto siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + a_i + a_j (a_i) + e_{ijk}$$

donde:

$\mu$  = Media general o constante común a todas las observaciones.

$\alpha_i$  = Efecto fijo del i-ésimo año de inicio de la prueba (i=2011/2012..., 2017).

$a_j(\alpha_j)$  = Efecto aleatorio del j-ésimo animal (j=1.2..., 241) anidado en el i-ésimo año de inicio (en el caso del bicarácter para obtener los VG no se realizó anidamiento).

$e_{ijkl}$  = Error aleatorio asociado a las observaciones normalmente distribuido con media 0 y varianza  $\delta^2$ .

Para obtener las correlaciones fenotípicas y genéticas con el ProcCorr del SAS (2013) se correlacionaron los valores fenotípicos entre sí, al igual que entre los valores genéticos de los indicadores peso al destete y peso final, los índices porcentuales de ganancia en peso vivo, peso por edad y producción de leche de las madres mediante las correlaciones de Pearson.

El índice de selección (I) se calculó tomando en cuenta el genotipo agregado (H), que se conformó a partir de los VG obtenidos con el modelo bicarácter ya mencionado anteriormente y los valores económicos relativos (a) registrados previamente a partir del beneficio económico logrado según el precio vigente (11.20 pesos/kg de peso vivo de búfalo) (Anon 2015). Con estos valores se obtuvieron los parámetros b del índice finalmente procesado ( $b=P^{-1}Ga$ ), donde P y G representan las matrices de (co) varianzas fenotípicas y genéticas de ambas características, que se multiplicaron por la matriz de las desviaciones individuales de los fenotipos de sus respectivas medias para obtener el índice final I, donde:

$$I = b' \begin{bmatrix} Pd \\ Pf \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mu Pd \\ \mu Pf \end{bmatrix}$$

and

$$b = \begin{pmatrix} VPd & CovPdPf \\ CovPdPf & VPf \end{pmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} VGPd^2 & CovVGPdVGPf \\ CovVGPdVGPf & VGPf^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1.00 \\ 8.37 \end{bmatrix}$$

Pd y Pf representan el peso al destete y final de la prueba, sus medias ( $\mu Pd$  y  $\mu Pf$ ), sus varianzas (VPd, VPf) y covarianzas (CovPdPf) fenotípicas, las varianzas de sus valores genéticos (VGPd<sup>2</sup> y VGPf<sup>2</sup>) y covarianzas (CovVGPdVGPf), así como los valores económicos relativos respectivos. Todos representados de forma matricial.

### Resultados y discusión

Los resultados relativos del comportamiento de las variables procesadas por año de entrada a prueba se muestran en la tabla 1. Aunque estos valores son aceptables, están todavía por debajo de los objetivos del plan de mejoramiento genético de los búfalos en Cuba (Mitat et al. 2010). Se registró un comportamiento variable de todos los indicadores evaluados, que disminuyeron en los últimos años, en parte debido al bajo índice de selección aplicado (Mitat 2022) y por motivos no precisados. Por estas razones, se considera que se debieran adoptar medidas que permitan alcanzar pesos superiores. En particular, en lo que respecta a la genética, se debe proponer una selección más precisa que la que actualmente se realiza, independientemente de que se trabaje en otras vías posibles de mejora no genética.

Las correlaciones fenotípica y genética del índice de producción de leche de las madres (%) fueron bajas para todos los indicadores evaluados (tabla 2), por lo que se consideró que no era conveniente su inclusión en un índice de selección. Se determinó otorgarle más importancia por medio de otras vías de selección en el programa, y sí considerar el peso al destete y final a los 20 meses. Estos tuvieron una correlación genética que, aunque alcanzó un

**Tabla 1.** Resultados de la prueba de comportamiento registrados en una empresa genética en Cuba

Años de inicio de las pruebas de comportamiento	Peso destete, ocho meses		Peso final, 20 meses		Ganancia 8-20 meses		Peso por edad, 20 meses		Producción de leche madres en ocho meses	
	Media, kg	EE ±	Media, kg	EE ±	Media, g/día	EE ±	Media, g/día	EE ±	Media, kg	EE ±
2011-2012	136.43 <sup>a</sup>	1.65	285.39 <sup>a</sup>	5.28	317.05 <sup>a</sup>	10.53	413.34 <sup>a</sup>	7.49	1068.43 <sup>ab</sup>	30.01
2013	148.80 <sup>b</sup>	1.52	306.48 <sup>b</sup>	4.86	390.89 <sup>b</sup>	9.70	454.60 <sup>b</sup>	6.89	1135.42 <sup>a</sup>	27.64
2014	140.17 <sup>a</sup>	1.26	326.56 <sup>c</sup>	4.03	440.43 <sup>c</sup>	8.04	475.52 <sup>b</sup>	5.72	1072.55 <sup>ab</sup>	22.91
2015	141.07 <sup>ac</sup>	1.33	333.35 <sup>c</sup>	4.26	496.10 <sup>d</sup>	8.50	501.92 <sup>c</sup>	6.04	1032.28 <sup>abc</sup>	24.21
2016	151.92 <sup>b</sup>	1.20	320.62 <sup>c</sup>	3.84	320.26 <sup>a</sup>	7.65	453.57 <sup>b</sup>	5.44	944.04 <sup>c</sup>	21.81
2017	145.69 <sup>c</sup>	1.48	310.20 <sup>d</sup>	4.72	309.84 <sup>a</sup>	9.42	459.74 <sup>b</sup>	6.70	1013.17 <sup>bc</sup>	26.84
Valor de P	<.0001		<.0001		<.0001		<.0001		<.0001	

<sup>a,b,c,d</sup> Valores con letras no comunes por columna difieren a P<0.05 (Kramer 1956)

**Tabla 2.** Correlaciones fenotípicas (arriba diagonal) y genéticas (abajo diagonal) y sus significaciones entre indicadores medidos en la prueba de comportamiento de búfalos

	Peso destete	Peso 20 meses	GD, %	PPE, %	PLM, %
Peso destete	1.00	0.36008 <.0001	0.12397 0.0546	0.17912 0.0053	-0.05434 0.4010
Peso 20 meses	0.31575 <.0001	1.00	0.35679 <.0001	0.41925 <.0001	-0.01493 0.8176
GD, %	0.11784 0.0684	0.82696 <.0001	1.00	0.80894 <.0001	0.06194 0.3383
PPE, %	0.16026 0.0129	0.90789 <.0001	0.80262 <.0001	1.00	0.07263 0.2614
PLM, %	-0.04504 0.4874	0.02631 0.6851	0.01925 0.7666	0.01349 0.8353	1.00

GD: ganancia diaria PPE: peso por edad PLM: producción de leche de las madres

valor medio y significativo, evidenció cierta independencia entre sus propios genes, los que demostraron ser completamente independientes de la producción de leche de sus respectivas madres.

En Brasil, [Falleiro et al. \(2013\)](#) con búfalos Mediterráneos obtuvieron una correlación genética mayor, igualmente significativa, de 0.75 entre el peso al destete a los 205 días y el peso posterior a los 305 días. En tanto que, la fenotípica también fue superior y significativa, con valor de 0.67. Esto se explica por la mayor proximidad entre las edades evaluadas (205 vs 305 d) por estos autores en relación con las nuestras (244 vs 608 d). Como dicha correlación no fue tan elevada como para garantizar una respuesta correlacionada alta, al obviar uno de los dos y al considerar lo sugerido por [Mrode y Thompson \(2005\)](#) con respecto al sesgo por eliminación (*cullingbias*), se justificaría combinar ambas características en un índice que las pondere en un valor agregado que minimice dicho sesgo. Según los autores citados, se incurre en dicho sesgo al seleccionar por peso final sin tomar en cuenta el peso al destete, cuando solo van a prueba los animales preseleccionados.

Se sugiere no tomar en cuenta la inclusión del índice porcentual de la producción de leche de las madres, como actualmente se hace en el plan de mejoramiento en Cuba, y sí contemplarla en la preselección de los animales a prueba, así como en un procedimiento de selección posterior, que finalmente considere junto al índice propuesto el valor genético propio de dichas madres. Este se estima a partir de la información de la base de datos de todas las madres de la empresa, y no de aquellas cuyos hijos se sometieron a pruebas, basadas incluso en varias lactancias.

El índice de selección que así se realiza combina una característica (peso al destete) que tiene alta determinación genética materna, debido a sus efectos directos e indirectos ([Telo da Gama et al. 2004](#) y [Mrode y Thompson 2005](#)) con el peso al final de la prueba de comportamiento a los 20 meses. Con respecto a esta última, este estudio presentó cierta independencia de carácter genético ( $r_g=0.31575$ ), que con sus ponderaciones económicas lo acercaría más a un

ideal de características deseables de un genotipo agregado, por lo que pudiera reemplazar el método actualmente usado. Así, este subíndice se combinaría con un índice integral que contemple los valores genéticos correspondientes a las madres de los individuos en prueba de comportamiento, obtenidos al evaluar todas las madres para producción de leche. Este aspecto merece un estudio posterior. En Brasil, [Daher \(2010\)](#) sugiere un tratamiento similar con búfalos, pero en producción de leche, con el propósito de modificar la curva de lactancia en una dirección deseable.

La [tabla 3](#) muestra los 20 individuos mejores y peores, según el índice valorado que representa a todos los animales en el período analizado. No obstante, es posible que el interés sea la valoración de un período específico, particularmente del último año, a pesar de que cuando la evaluación toma en cuenta la población entera durante varios años, se garantiza mayor precisión en la evaluación. Este procedimiento es más confiable que con los valores porcentuales como hasta ahora se practica, aunque los valores de ponderación pueden variar de acuerdo con los intereses del productor.

Con la utilización del IML, este procedimiento se pudiera aplicar para otras características de interés económico en la producción bubalina, por lo que representa aquí un ejemplo. Tanto con el IML como con el multicarácter, que contemplaría un genotipo agregado con más de dos caracteres, es preferible su aplicación donde no existan poblaciones de grandes dimensiones y de amplio historial genealógico. Existen diversas formas o métodos de llevar a cabo la selección y realizar las evaluaciones con programas específicos y complejos (ASREML de [Gilmour et al. 2003](#)) o llevar a cabo una selección más precisa con el ajuste por covarianza de la curva de crecimiento a partir de los pesajes realizados a otras edades durante la prueba o proceder a conformar los índices mediante el procedimiento de los componentes principales de los valores genéticos, como señalan [Bignardi et al. \(2012\)](#) y [Khan et al. \(2013\)](#).

En Cuba, [Hernández y Ponce de León \(2018, 2020\)](#) han realizado estudios en objetivos genéticos definidos por los

**Tabla 3.** Mejores y peores índices individuales, estandarizados mediante los valores genéticos del modelo bicarácter, con los pesos al destete y final de búfalos en prueba de comportamiento (N=241 y rHI=0.9499)

Mérito	Identificación	Mejores	Identificación	Peores
1	207-16	2.7757	281-10	-1.3130
2	117-10	2.5739	385-10	-1.3937
3	495-13	2.2385	75 15	-1.4098
4	327-13	2.1560	707-12	-1.4394
5	107-14	2.0502	457-10	-1.4762
6	385-14	1.9811	263-10	-1.5219
7	143-13	1.9793	379 15	-1.5228
8	113-13	1.9578	133-10	-1.5506
9	263-14	1.9560	155 15	-1.5578
10	125-14	1.8618	301-12	-1.6331
11	121-14	1.8484	129-16	-1.6547
12	111-12	1.8313	217-10	-1.7192
13	445-10	1.8143	269-10	-1.7390
14	381-14	1.7390	265-10	-1.7793
15	111-13	1.6591	297-12	-1.8681
16	323-13	1.6403	333-12	-2.0152
17	133-14	1.5686	327-10	-2.0681
18	329-13	1.5443	597 15	-2.0771
19	63-14	1.5399	1405-12	-2.2349
20	113-14	1.5381	295-10	-2.5614

componentes principales más importantes que permiten incorporar varias características en el índice.

Shook (2006) señaló el empleo de subíndices que se combinan con posterioridad en un índice general y puede ser una alternativa más para alcanzar el objetivo de un mérito económico total. Sobre estos aspectos se trabaja con esta misma información con vistas a valorar métodos de selección más precisos.

No obstante a lo anterior, la metodología de índice general aquí señalada, basada en un subíndice para peso al destete y peso final de la prueba, así como en otro subíndice para la producción de leche de las madres, aunque no se aborda en este artículo se realiza en el país con otros procedimientos, y constituye un ejemplo de lo que pudiera ser cuando las poblaciones para mejora no son grandes a escala de país o de empresa. Este procedimiento pudiera ser una guía o ejemplo, tomando en consideración otras características de interés económico. De esta manera, la especie bubalina en Cuba pudiera contar con una evaluación genética más precisa y realizar una contribución mayor, como señala Yadav (2004) al referirse no solo a la producción de leche, sino a la producción de carne de alto valor comercial y calidad nutricional.

### Conclusiones

Se concluye que el índice de selección construido a partir de las varianzas y covarianzas de los valores genéticos y fenotípicos, ponderados económicamente como regresión de

las desviaciones de sus medias del peso al destete y final, es un método confiable para la selección de los búfalos en las pruebas de comportamiento.

### Referencias

- ANASB 2020a. Índice genético búfalos y toros. N° 38. Associazione Nazionale Allevatori Specie Bufalina. Caserta-Italia.
- ANASB 2020b. Selection activities. R&D office. Buffalo Newspaper. Bulletin of the FAO-Escorena Inter Regional Cooperative Research Network on Buffalo and of International Buffalo Federation. No. 36. December 2020. p. 21-25. Italia. Available at: <https://internationalbuffalofed.org/newsletters/>.
- Anon 2015. Precios máximos de acopio en pesos cubanos (cup) por categoría de ganado bovino en pie (vacuno y bufalino) en el campo, con destino a la industria o mataderos autorizados. Anexo único. Artículo 30 del Decreto- Ley No. 272. Mayo 2015. Pp. 30-34.
- Agudelo, D.A. Agudelo, J.H. & Cerón, M.F. 2016. Selection index for meat and milk traits of buffaloes in Colombia. *Livestock Science*, 191: 6-11, ISSN: 1878-0490. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.06.016>.
- Bignardi, A.B., El Faro, L., Rosa, G.J.M., Cardoso, V.L., Machado, P.F. & Albuquerque, L.G. 2012. Short communication. Principal components and factor analytic

- models for test-day milk yield in Brazilian Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 95: 2157-2164, ISSN: 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4494>.
- Daher, E. 2010. Selection Index for Dairy Buffaloes. 9 th World Buffalo Congress. Buenos Aires, Argentina. April 25-28. <https://www.wbc2010.org>.
- Duangjinda, M. 2007. SAS/IML for Best Linear Unbiased Prediction. Department of Animal Science KhonKaen University, Thailand 40002. ISBN 974-9992-65-2.
- Elzo, M.A. & Vergara, O.D. 2007. Modelación aplicada a las ciencias animales: II. Evaluaciones genéticas. Biogénesis. Primera edición: ISBN: 978-958-8748-58-0.
- Endris, M. 2020. Review on selection index in animal breeding. Tesis PhD. School of animal and Range Science. Haramaya University. Etiopía. ID. No: PhD/059/12.
- Falleiro, V., Silveira, E. & Ramos, A. 2013. Genetic Correlation for Pre-Weaning and Post-Weaning Traits of Mediterranean Buffaloes from Brazil, Estimated by Bayesian Inference. *Buffalo Bulletin*, 32(2): 650-653, ISSN: 2539-5696.
- García, D., Fraga L.M., García, Y., Sánchez A. & Zimón, M. 2017. Reproductive performance in a Cuban buffalo Enterprise. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(4): 409-416, ISSN: 2079-3480.
- Gilmour, A.R., Gogel, B.J., Cullis, B.R., Welham, S.J. & Thompson, R. 2003. ASREML. User Guide Release 1.10.
- Hazel, L.N. 1943. The Genetic Basis for Constructing Selection indexes. *Genetics*, 28(6): 476-490, ISSN: 1943-2631. <https://doi.org/10.1093/genetics/28.6.476>.
- Hazel, L.N. & Lush, J.L. 1942. The efficiency of three methods of selection. *Journal of Heredity*, 33(11): 393-399, ISSN: 1465-7333. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a105102>.
- Hernández, A. & Ponce de León, R. 2018. Índices de selección en ganado Mambí de Cuba mediante el análisis de componentes principales. *Livestock Research for Rural Development*, 30 (12), Article #197. Available at: <http://www.lrrd.org/lrrd30/12/arel30197.html>.
- Hernández, A. & Ponce de León, R. 2020. Índices de selección para la mejora genética de vacas Siboney de Cuba. *Archivos de Zootecnia*, 69 (265): 46-53, ISSN: 18 85-4494. <https://doi.org/10.21071/az.v69i265.5038>. Available at: <https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/>.
- Khan, T.A., Tomar, A.K.S., Dutt, T. & Bhushan, B. 2013. Principal component regression analysis in lifetime milk yield prediction of crossbred cattle strain Vrindavani of North India. *The Indian Journal of Animal Sciences*, 83(12): 1288-1291, ISSN: 2394-3327. <https://doi.org/10.56093/ijans.v83i12.35805>. Available at: <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAnS/article/view/35805>.
- Kramer, C.Y. 1956. Extension of Multiple Range Tests to Group Means with Unequal Numbers of Replications. *Biometrics*, 12(3): 307-310, ISSN: 0006-341X. <https://doi.org/10.2307/3001469>.
- Miglior, F., Fleming, A., Brito, L, Martin, P. & Baes, F. 2017. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100: 10251-10271, ISSN: 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12968>.
- Mitat, A. 2022. Búfalos de agua. I. Comportamiento del rebaño Buffalypso puro en Cuba. *Revista de Producción Animal*, 34(1): e4092, ISSN: 2224-7920. Available at: <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e4092>.
- Mitat, A., Lezcano, J., Pérez, M., García, A., García, J., Ramos, R., Valero, C., Padrón E., Fraga, L.M., Uffo, O., Domínguez, A. & Arias, Y. 2010. Bases para la elaboración del programa de mejoramiento genético de los búfalos en Cuba. Programa integral de ganadería. Ministerio de Agricultura.
- Mrode, R.A. & Thompson, R. 2005. Linear models for the prediction of animal breeding values. Second edition. CABI Publishing. UK. ISBN 0 85199 000 2. <https://doi.org/10.1079/9780851990002.0000>.
- Ramos, A. & Fraga L.M. 2008. Programa de mejoramiento genético del búfalo brasileño: interpretación y aplicación. IV Simposio de Búfalos de las Américas, Mérida, Venezuela.p.15.
- Ranjhan, S. 2004. Commercial production of buffalo meat with social agenda. Proceedings - Invited papers volume I 7th World Buffalo Congress. Makati City. Philippines. ISBN 971-748-020-6. p. 1.
- Reggeti, J. 2004 Recent developments of buffalo system in South and North America. Proceedings - Invited papers volume I 7th World Buffalo Congress. Makati City. Philippines. ISBN 971-748-020-6. p.7.
- SAS Institute Inc. 2013. Statistical Analysis Software SAS/STAT®. Version 9.1.3, Cary, N.C., USA, Available at: [http://www.sas.com/en\\_us/software/analytics/stat.html#](http://www.sas.com/en_us/software/analytics/stat.html#).
- Schabenberger, O. 2006. Introducing the GLIMMIX Procedure for Generalized Linear Mixed Models, SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.
- Shook, G.G. 2006. Major Advances in Determining Appropriate Selection Goals. *Journal of Dairy Science*, 89(4): 1349-1361, ISSN: 1525-3198. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72202-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72202-0).
- Taheri, B. & De Seno L. 2016. Investigation of response to selection for milk traits in dairy buffalo of Iran based on three sale situations. *Buffalo Bulletin*, 35(3): 405, ISSN: 2539-5696.
- Telo da Gama, L., Pereira de Matos, C. & Carolino, N. 2004. Modelos Mistos em Merolhamento Animal. DGV.

- Ministerio do Agricultura. Desenvolvimento Rural e Pescas. Portugal. p. 101.
- Weigel, K.A., Van Raden, P.M., Norman, H.D. & Grosu, H. 2017. A 100-Year Review: Methods and impact of genetic selection in dairy cattle—From daughter–dam comparisons to deep learning algorithms. *Journal of Dairy Science*, 100: 10234–10250, ISSN: 1525-3198. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12954>.
- Wolfinger, R. & Connell, M. 1993. Generalized linear models a pseudo-likelihood approach. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 48(3-4): 233-243, ISSN: 0094-9655. <https://doi.org/10.1080/00949659308811554>.
- Yadav, M.P. 2004. Prospects of improving buffalo production in India. 7th World Buffalo Congress. Proceedings - Invited Papers. Volume I. Pag. 63. Makati City. Philippines.