



Original

Evaluación global de la productividad del rebaño lechero. II-Metodología y resultados

Overall assessment of dairy herd productivity. II- Methodology, relationship and trends

Simón González Prieto *, Alina Mitat Valdés **, Marco A. Suárez Tronco ***, Alberto Menéndez-Buxadera **

*Finca Corralito, Empresa Pecuaria Genética “Camilo Cienfuegos”, Consolación del Sur, Pinar del Río, Cuba.

**Asesor(a) independiente, Cuba.

***Universidad Agraria de la Habana y Centro de Investigaciones para el Mejoramiento Animal de la Ganadería Tropical (CIMAGT), La Habana, Cuba.

Correspondencia: marcosuareztronco@gmail.com

Recibido: Junio, 2024; Aceptado: Junio, 2024; Publicado: Julio, 2024.

RESUMEN

Antecedentes: En el artículo previo se encontró antagonismo entre comportamiento reproductivo (CR), producción de leche (PL) y stress térmico (ST) a nivel del rebaño en su conjunto, las que pueden ser combinadas mediante metodologías estadísticas multivariadas. **Objetivos.** Estimar y utilizar las relaciones globales entre la estructura del rebaño y el efecto del clima sobre la productividad de 30 rebaños lecheros en las condiciones del sur de Pinar del Río. **Métodos:** Se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) a las medias mínimo cuadráticas obtenidas mediante modelos lineales a los resultados totales de rasgos lecheros, reproductivos y de stress calórico. **Resultados:** Se evidenció una relación negativa entre PL, CR y ST, sin embargo, existe mucha variación en la forma de respuesta de cada componente, de manera que se puede alcanzar mayor nivel de PL con atención diferenciada a las actividades de CR y ST. Por otro lado, con los resultados del ACP se pudo confeccionar un índice que sintetiza la tendencia negativa en todos los indicadores en función del tiempo, correspondiéndole a vacas en ordeño el componente básico que determina la productividad del rebaño, con un decrecimiento de casi el -3% por cada 6 meses a partir de enero del 2014. **Conclusiones:** Se sugiere aplicar estos procedimientos estadísticos para identificar los factores limitantes de la productividad global de los rebaños lecheros los cuales se pueden llevar a cabo mediante acciones diferenciadas ligadas a CR que permiten atenuar las tendencias negativas encontradas.

Como citar (APA) Evaluación global de la productividad del rebaño lechero. II-Metodología y resultados. (2024). *Revista de Producción Animal*, 36(2). <https://apm.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e150>



©El (los) autor (es), Revista de Producción Animal 2020. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Attribution-NonCommercial 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), asumida por las colecciones de revistas científicas de acceso abierto, según lo recomendado por la Declaración de Budapest, la que puede consultarse en: Budapest Open Access Initiative's definition of Open Access.

Palabras clave: Análisis de componentes principales, comportamiento reproductivo, producción lechera, stress térmico (*Fuente: AGROVOC*)

ABSTRACT

Background: In the previous article, antagonism was found between reproductive behavior (CR), milk production (PL) and thermal stress (ST) at the level of the herd as a whole, which can be combined using multivariate statistical methodologies. **Objectives.** Estimate and use the global relationships between herd structure and the effect of climate on the productivity of 30 dairy herds in the conditions of southern Pinar del Rio. **Methods:** A principal component analysis (PCA) was applied to the means least squares obtained through linear models to the total results of dairy, reproductive and heat stress traits. **Results:** A negative relationship was evident between PL, CR and ST, however, there is a lot of variation in the response form of each component, so that a higher level of PL can be achieved with differentiated attention to the activities of CR and SC. On the other hand, with the results of the PCA it was possible to create an index that synthesizes the negative trend in all the indicators as a function of time, with milking cows corresponding to the basic component that determines the productivity of the herd, with a decrease of almost - 3% for every 6 months starting in January 2014. **Conclusions:** It is suggested that these statistical procedures be applied to identify the limiting factors of the global productivity of dairy herds, which can be carried out through differentiated actions linked to CR that allow attenuating the negative trends found.

Keywords: Principal component analysis, reproductive behavior, milk production, thermal stress (*Source: AGROVOC*)

INTRODUCCIÓN

La actividad ganadera de Cuba está pasando por un mal momento. La mayor parte de los indicadores productivos muestran una tendencia francamente negativa, pudiéndose citar entre otros: reducción del número de cabezas, disminución de los nacimientos e incremento de la mortalidad, menos producción de leche global, vacas en ordeño, rendimiento anual/vaca en ordeño y rendimiento diario de leche/vaca en ordeño (Anuario Estadístico de Cuba, 2023) situación que se debe revertir a corto y mediano plazo, dado su determinante rol en el balance alimenticio de la población del país. La tarea es muy grande, pero existe voluntad del Estado para enfrentar estas limitantes y cambiar radicalmente esta situación la cual empleará tiempo y recursos materiales y humanos.

La producción animal de leche y/o carne es un proceso muy complejo en el cual intervienen la acción e interacción de suelo-clima-animal-hombre con el objetivo de transformar un alimento no consumible por el hombre en un producto de alta calidad biológica. Esta actividad es un ciclo de varios eslabones estrechamente unidos, de manera que el beneficio del valor agregado final del producto que se comercializa depende de la buena marcha de cada uno de los mismos, esto implica que se requiere aplicar un enfoque integral muy dinámico cuyo indicador de mayor nivel de leche o carne, depende de la buena marcha de cada evento previo (Menéndez-Buxadera *et al.*, 2004; Milera, 2006; Arias *et al.*, 2008).

En el artículo de González *et al.* (2024) se emplearon las constantes mínimo cuadrática (*lsm*) de los modelos lineales mixtos aplicados para representar las respuestas de las variables

dependientes en función del tiempo. En este caso se utilizaron los resultados mensuales a nivel del rebaño en su conjunto y no de la forma clásica de producción de leche por lactancia.

En términos generales las tendencias fueron negativas, de manera que, en el año 2018, los rebaños produjeron entre -15% y -20% en rasgos ligados a la producción láctea (PL) y el comportamiento reproductivo (CR) respectivamente, respecto a los niveles de los mismos componentes logrados en 2014. En ese mismo período de tiempo se manifestó un depresivo impacto en PL (-13%) debido a stress climático (SC). Aun cuando las *lsm* representan estimados insesgados de estos grandes factores para cada vaquería, los mismos pueden contener información redundante, de manera que se considera oportuno aplicar otros procedimientos estadísticos multivariados que permitan generalizar e identificar patrones que pueden emplearse para guiar y chequear el trabajo periódico del conjunto de vacas del rebaño, con vistas a maximizar el producto final (González *et al.*, 2024).

En Cuba, se han aplicado análisis estadísticos multivariados sugeridos por Torres *et al.*, (2013) y aplicados en diferentes escenarios de producción animal (Vázquez *et al.*, (2020) así como en programas de selección y mejora de razas lecheras (Hernández *et al.*, (2021), sin embargo, los efectos climáticos no fueron considerados. El análisis de componentes principales (ACP) reúne otras múltiples ventajas adicionales (Hair *et al.*, 2009) cuya descripción general aplicada a este contexto de la productividad del rebaño incluyendo efectos de stress calórico, es el objetivo de este segundo artículo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La base de datos empleada ya fue descrita en el primer artículo (González *et al.*, 2024) y solo se utilizarán las *lsm* obtenidas en esos análisis como información primaria para aplicar el análisis de componentes principales, empleando Matlab (2019). El resultado de ACP son nuevas variables que se construyen como combinaciones lineales o mezclas de las variables iniciales de tal manera que contienen en los primeros componentes la mayor parte de la variación, sin pérdidas importantes de la información original. Con las *lsm* de cada rebaño para los caracteres de PL; CR y SC se confeccionó una matriz (\mathbf{X}_p) la cual fue sometida a un ACP que permite transformar las variables originales de \mathbf{X}_p en \mathbf{q} nuevas variables subyacentes (\mathbf{Y}_q) no correlacionadas entre sí denominadas Componentes Principales (CP) que explican la mayor parte de la variabilidad de la matriz \mathbf{X}_p definida como:

$$Y_1 = e_1'X = e_{11}X_1 + e_{12}X_2 + \dots + e_{1p}X_p$$

$$Y_2 = e_2'X = e_{21}X_1 + e_{22}X_2 + \dots + e_{2p}X_p$$

$$Y_p = e_p'X = e_{p1}X_1 + e_{p2}X_2 + \dots + e_{pp}X_p$$

El Matlab (2019) estandariza las variables \mathbf{X}_p de manera que la media de \mathbf{Y}_q es igual a cero, luego $\mathbf{E}(\mathbf{Y}_i) = \mathbf{E}(\mathbf{X}_i e_i) = \mathbf{0}$, por tanto, la varianza de \mathbf{Y}_i será $\mathbf{V}(\mathbf{Y}_i) = e_i' \lambda e_i$.

$$\left. \begin{aligned} \text{var}(Y_1) &= \text{var}(Xe_1) = e_1'Xe_1 = \lambda e_1'e_1 = \lambda_1 \\ \text{var}(Y_2) &= \text{var}(Xe_2) = e_2'Xe_2 = \lambda e_2'e_2 = \lambda_2 \\ \text{var}(Y_p) &= \text{var}(Xe_p) = e_p'Xe_p = \lambda e_p'e_p = \lambda_p \end{aligned} \right\} \text{Con } \lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$$

y la covarianza será $\text{cov}(Y_i Y_j) = \text{cov}(Xe_i, Xe_j) = \lambda_j e_i' e_j = 0$ para $i \neq j$ donde λ_i es el valor propio o eigenvalues y e_i es el vector propio o eigenvector de la matriz. Estas relaciones se mantienen si y solo si el $\det(\lambda I - X) = 0$. En términos formales esta estimación es muy compleja, pero existen software que facilitan ese trabajo.

Generalmente los CP estimados se ordenan en forma descendente según el valor de λ_i , que son las varianzas de las variables originales contenidas en los coeficientes del e_i que significan la importancia relativa de cada variable y su valor es igual a la correlación entre la variable y el CP, al propio tiempo los correspondientes e_i son ortogonales, luego no están correlacionados entre sí y sus efectos pueden sumarse y conformar un índice (IPC):

$$IPC = Y_1 + Y_2 + Y_3$$

donde los Y_i se definieron previamente

Siguiendo la estrategia planteada por Kirkpatrick *et al.* (1990) si se examinan los resultados de ACP de estos rebaños según λ_1 se pueden identificar algunos factores comunes que describen las variaciones en el nivel de respuesta de la productividad total de los rebaños, mientras que en λ_2 se muestran cambios.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del ACP indica que los tres primeros eigenvalues (λ_i) explican el 97% de la varianza (Tabla 1), en particular el primer λ_1 que presenta todos los eigenvectors (e_i) con valores positivos, luego los resultados indican posibles aumentos (o decrecimientos) simultáneos en todas las variables. Los coeficientes de los λ_2 y λ_3 muestran valores positivos y negativos y lo han asociado con cambios de forma y de conjunto son responsables del 34.3% de la varianza de todas las variables, magnitud en modo alguno despreciable si se toma en cuenta la importancia relativa y significado práctico de cada e_i . particularmente para las variables ITH y % de vacas en ordeño que son las que mayor influencia pueden ejercer para el cambio de la forma de respuesta en el contexto de este escenario de análisis global de la productividad de rebaños lecheros.

Tabla 1. Estimados de eigenvectores y eigenvalues (λ_i) de datos de producción láctea de los rebaños analizados.

Variables Incluidas	Coeficientes de los eigenvalues				
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5
Producción total día	0.5480	-0.1211	-0.0602	-0.5019	-0.6554
Producción por vaca	0.5158	-0.1151	-0.3246	0.7764	-0.1122
% vacas ordeño	0.3259	0.1110	0.9196	0.1878	0.0237
Producción por hectárea	0.5486	-0.1247	-0.1312	-0.3300	0.7466
Nivel de ITH	0.1625	0.9717	-0.1678	-0.0344	-0.0019

Eigenvalues λ_i	3.2	1.0	0.8	0.1	0
Varianza explicada %	63.1	19.0	15.3	2.2	100.0
Varianza acumulada %		82.1	97.4	99.6	100.0

Cuando los resultados se muestran en un espacio tridimensional (Figura 1) se evidencia que los vectores ligados a las diferentes expresiones de la producción de leche están en un mismo cuadrante y estrechamente correlacionados entre sí (pequeño ángulo entre los mismos) y conforman el factor común de las actividades productivas del rebaño. Al mismo tiempo nótese las posiciones contrastantes y de dirección opuesta entre el vector **ITH** con los tres indicadores de **PL**, mientras que el vector de vacas en ordeño ocupa una posición de balance entre ambos componentes. Esta negativa relación entre **ITH-leche** es la misma tendencia indicada por Peña *et al.*, (2020) en las condiciones de Cuba, con animales similares a los representados en este estudio y datos de producción total de los rebaños.

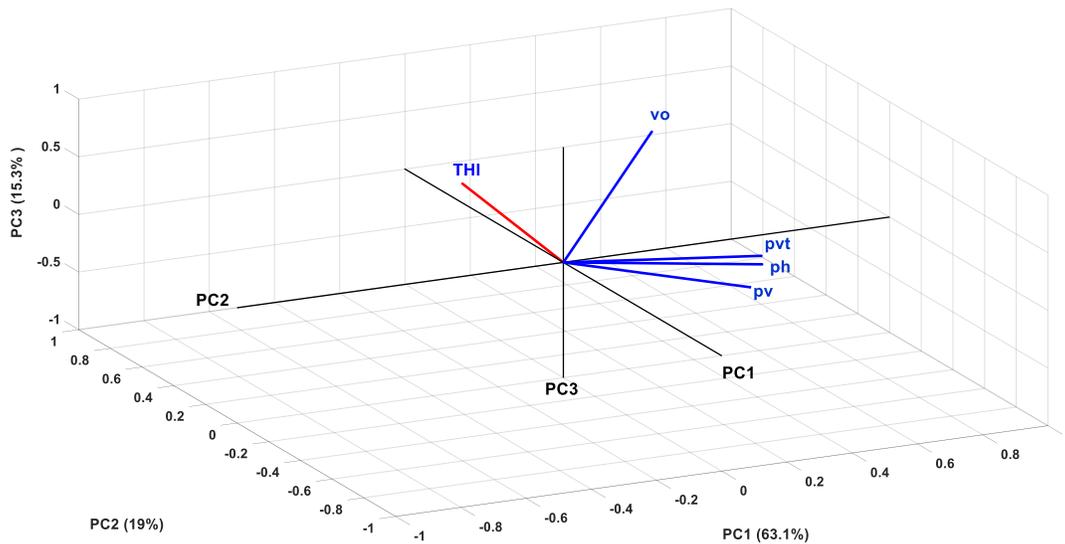


Figura 1. Representación en un Biplot de los tres primeros eigenvectores del análisis de componentes principales de los resultados totales de producción de leche de los 30 rebaños lecheros estudiados.

Otra problemática que se debe analizar son las relaciones entre producción de leche y el comportamiento reproductivo ya que ambos son los componentes básicos de la productividad del rebaño lechero. Para una generalización entre ambos eventos se utilizaron las medias ajustadas por efectos de rebaño (aleatorio), año-mes, carga e **ITH** que se sometieron a un ACP y los resultados (Tabla 2) indican que los tres primeros λ_i explican el 99% de las varianzas del conjunto de las actividades principales de los rebaños representados. Los coeficientes de los eigenvectores muestran un primer λ_1 positivamente relacionado con el nivel general de todas las variables que lo conforman, no obstante el λ_2 y λ_3 de conjunto, representan el vector forma con

34% de la varianza en todas estas actividades y presenta signos contrastantes, en particular para número de inseminaciones mensuales y por ciento de vacas en ordeño, de manera que los mismos objetivos de mayor nivel productivo del rebaño, pueden lograrse con atención diferenciada a varias actividades.

Tabla 2. Estimados de eigenvectores y eigenvalues (λ_i) de datos de producción láctea y numero de inseminaciones mensuales de los rebaños analizados.

Variables Incluidas	Coeficientes de los eigenvalues λ_i				
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5
Inseminaciones mes (ia)	0.1522	0.9843	-0.0441	-0.0728	0.0266
Vacas en ordeño %(vo)	0.3477	-0.0215	0.8941	-0.1833	-0.2137
Leche/vaca/día kgs (pv)	0.5079	-0.1143	-0.4316	-0.4380	-0.5923
Leche/totalvaca/día kgs(pvt)	0.5473	-0.1306	-0.0901	-0.2849	0.7708
Leche total/hectárea kgs (ph)	0.5463	-0.0235	-0.0652	0.8295	-0.0929
Eigenvalues λ_i	3.2	1.0	0.8		
Varianza explicada %	65.0	19.1	15.1	0.7	
Varianza acumulada		84.1	99.2	99.9	100.0

Para la mejor interpretación de estos resultados se preparó la figura 2 con las direcciones de cada eigenvector correspondiente a estos tres λ_i . Este diagrama presenta una estructura particular en la que resalta la existencia de dos grandes factores contrastantes, uno representado por la actividad conjunta de PL (vectores **pv**; **ph** y **pvt**) y otro por el de **CR** identificada por las inseminaciones (vector **ia**) entre los cuales se manifiesta una relación negativa. Esta tendencia negativa leche-reproducción está poco documentada en Cuba, aunque es coherente con las evidencias mundiales (Oltenucu y Broom, 2010).

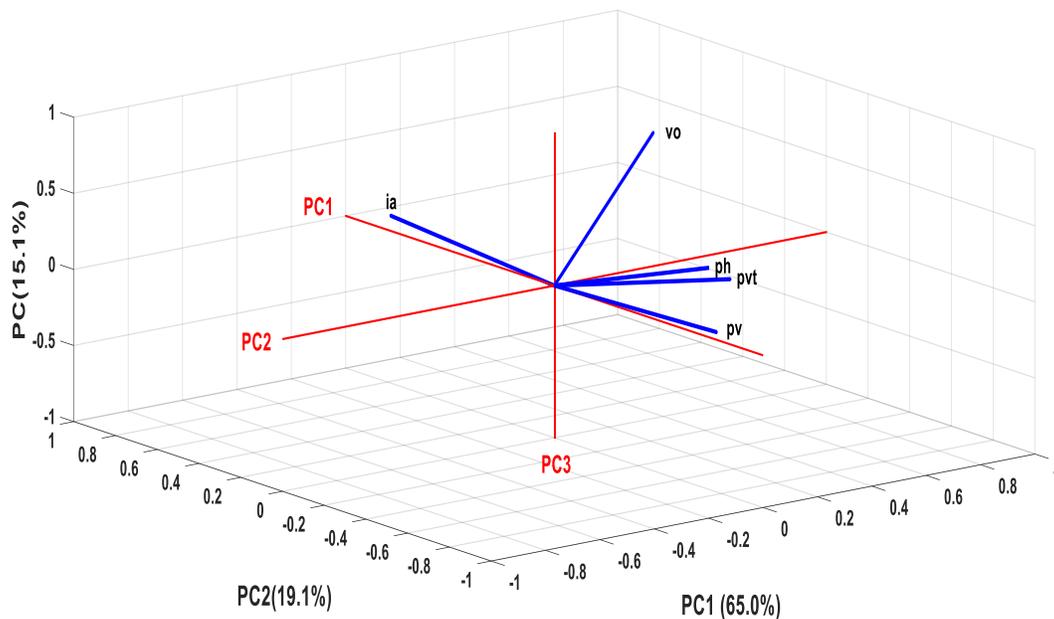


Figura 2. Representación de la dirección de los eigenvectores del análisis de ACP de las variables relacionadas con las actividades de producción de leche y reproducción.

El efecto del vector \mathbf{v}_0 juega un rol intermedio muy similar al presentado en la figura 1. En un sistema de producción de bajos insumos como el que se practica en estos rebaños estudiados, el porciento de vacas en ordeño es el indicador determinante ya que es consecuencia de todo el trabajo reproductivo y es el evento cuyo resultado global es el producto que se comercializa.

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 2 el primer λ_1 absorbe la mayor parte de las varianzas de todas las actividades productivas de los rebaños analizados y los correspondientes coeficientes (e_i) pueden usarse como factor de ponderación y crear el índice I_{pc} según se indicó en material y método:

$$I_{PC1} = 0.1522 * X_{ia} + 0.3477 * X_{v_0} + 0.5079 * X_{pv} + 0.5473 * X_{pvt} + 0.5463 * X_{ph}$$

En esta formulación las X_i corresponden con las medias mínimas cuadráticas estandarizadas del modelo. Este índice refleja los resultados conjuntos de todas las actividades que se han descrito en este documento y su evolución en el tiempo indicará los resultados logrados (Figura 3).

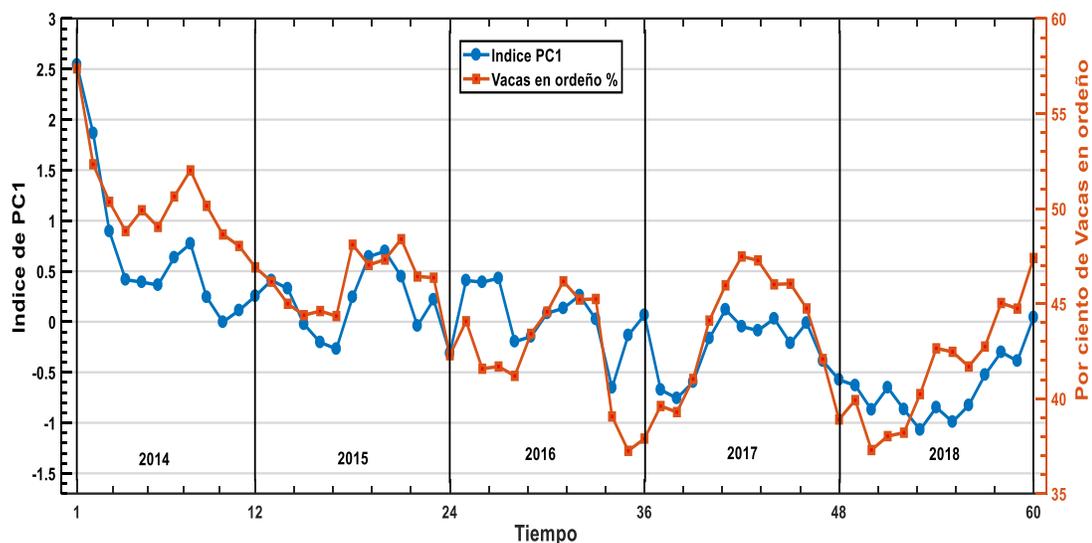


Figura 3. Trayectoria a lo largo del tiempo del índice conjunto de todas las actividades productivas de los 30 rebaños estudiados y del evento más determinante.

Según este gráfico los resultados productivos globales han manifestado altas y bajas, pero con una tendencia negativa en el tiempo y la actividad que explica toda esa depresiva respuesta se encuentra en el decrecimiento en el por ciento de vacas en ordeño. El análisis de correlaciones de I_{PC1} con \mathbf{v}_0 fue de 0.801 mientras que fue de 0.60; 0.298 y 0.403 para \mathbf{pv} ; \mathbf{pvt} y \mathbf{ph} respectivamente y 0.603 para \mathbf{ia} . Por otro lado, el análisis de regresión sobre el tiempo (t)

expresado en meses para cada variable X_i solo fue significativo para X_{vo} y fue $y_{vo} = 56.4 - 0.531(\pm 0.08)*t + 0.0061(\pm 0.001)*t^2$ (coeficiente de determinación $R^2 = 58.4\%$) lo cual quiere decir que a partir de enero del 2014 cada 6 meses decreció el por ciento de vacas en ordeño en -2.96% .

CONCLUSIONES

Se sugiere el uso de un procedimiento multivariado para analizar el comportamiento del conjunto de los animales de un rebaño lechero el cual ha demostrado su aplicación práctica. En el periodo de tiempo representado (2014 a 2018) las tendencias en función del tiempo fueron negativas en el comportamiento reproductivo, producción de leche y stress térmico, entre los cuales se manifestó antagonismo. Se encontró que es el porcentaje de vacas en ordeño (vo) el indicador que sintetiza la buena marcha de la productividad del rebaño en su conjunto, de manera que por cada 1% de aumento en vo se aumenta la producción de leche en $+2.2\%$.

REFERENCIAS

- Anuario Estadístico de Cuba 2022. (2023). Capítulo 9. Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca. Edición 2023. ONEI. Oficina Nacional de Estadística e Información. República de Cuba, 166 páginas. <https://www.onei.gob.cu/anuario-estadistico-de-cuba-2022>
- Arias, R. A., Mader, T. L., & Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de medicina veterinaria*, 40(1), 7-22. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002>
- González Prieto, S., Mitat Valdés, A., Suárez Tronco, M. A. & Menéndez-Buxadera, A. (2024). Evaluación global de la productividad de rebaños lecheros y estrés térmico. I. Análisis y primeros resultados. *Revista de Producción Animal*, 36(2). <https://apm.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e149>
- Hair, J.F., Black, W. C., Babin, B.J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2009). Multivariate data analysis. 7th edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA. <https://www.drnishikantjha.com/papersCollection/Multivariate%20Data%20Analysis.pdf>
- Hernández Rodríguez A.; Ponce de León Sentí, R. E., Prieto, S., Fernández Naranjo, A., Prada Gutiérrez, N., & Ramírez Vázquez, R. (2021). Estrategias de selección para la mejora genética de las razas Siboney de Cuba y Mambí de Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 11(1), 10. <https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/907>
- Kirkpatrick, M., Lofsvold, D., & Bulmer, M. (1990). Analysis of the Inheritance, Selection and Evolution of Growth Trajectories. *Genetics*, 124, 979-993. DOI: [10.1093/genetics/124.4.979](https://doi.org/10.1093/genetics/124.4.979)
- MATLAB and Statistics Toolbox Release. (2019). The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2052124>

- Menéndez-Buxadera, A., Caunedo, J., & Fernández, M. (2004). Relación entre el porcentaje de vacas en ordeño y la producción láctea total del rebaño. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 38(4), 361-367. <http://redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?!Cve=193017793003>
- Milera, M. (2006). Sistemas de producción de leche a partir de recursos forrajeros herbáceos y arbóreos. *Pastos y Forrajes*, 29(2), 1-27. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269121704001>
- Oltenucu, P. A., & Broom, D.M. (2010). The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. *Animal Welfare*, 19(S), 39-49. https://slunik.slu.se/kursfiler/HV0144/20120.1819/Oltenucu_2010_Genetic_selection_milk_production_and_welfare.pdf
- Peña Iván, Florangel Vidal, Carlos Miguel Espinosa, Redimio Pedraza., & Aliesky Hernández. (2020). The ITH and time of the Year in the Production of Dairy cows in the Cuban Tropics. *Archives of Veterinary and Animal Sciences*, 2(1), 6. <https://www.researchgate.net/publication/342216074>
- Torres, V., Cobo, R., Sánchez, L., & Ruez, N. (2013). Statistical tool for measuring the impact of milk production on the local development of a province in Cuba. *Livestock Research for Rural Development*, 25(159). <http://www.lrrd.org/lrrd25/9/torr25159.htm>
- Vázquez Montes de Oca, R., Bertot Valdés, J. A., & Horrach Junco, M. N. (2020). Metodología para evaluar la eficiencia biorreproductiva en rebaños vacunos *Revista Producción Animal*, 32(1). <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/rpa/article/view/e3335>

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Concepción y diseño de la investigación: SGP, AMB; análisis e interpretación de los datos: SGP, AM, MST, AMB; redacción del artículo: SGP, AMB, AM, MST.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.