



INDICADORES DE SALUD EN BOVINOS DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN DOBLE PROPÓSITO EN TRÓPICO SECO †

[BOVINE HEALTH INDICATORS IN DUAL-PURPOSE PRODUCTION UNITS IN THE DRY TROPICS]

L. A. Rojas-Sandoval¹, A. García-Martínez¹, P. García-Hernández¹,
M. Á. Salas-Silva² and J. Mondragón-Ancelmo^{1*}

¹Centro Universitario UAEMéx Temascaltepec de la Universidad Autónoma del Estado de México. Domicilio Conocido, Carretera Toluca-Tejupilco Km. 67.5, Barrio de Santiago. Temascaltepec, Estado de México, México. C.P. 51300. Email: lars23x@gmail.com, angama.agm@gmail.com, garciahernandezp@yahoo.com.mx, jaimemond.01@gmail.com*

²Centro Universitario UAEMéx Amecameca de la Universidad Autónoma del Estado de México, Domicilio Conocido, Carretera Amecameca km 2.5, Colonia Centro. Amecameca, Estado de México, México C.P. 56900. Email: silvasalasma@gmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background: Beef ranks third in consumption in the Mexican market, where the diversity in supply sources and management systems used in production units is notable. This diversity is reflected in the health and welfare conditions of cattle. **Objective:** To evaluate health indicators of dual-purpose cattle in Michoacán, Mexico, aiming to promote quality in the meat industry. **Methodology:** Data were collected using the protocol adapted from UC Davis Cow-Calf Health and Handling. Bivariate and multivariate statistical techniques (principal component analysis and cluster analysis) were applied to analyze the data. **Results:** Six factors explain the cattle's current and past health conditions. From these, three groups of cattle were obtained with statistically significant differences in eight key indicators. Group 1 (G1) was characterized by good body condition and favorable past health status. Group 2 (G2) showed recent health problems, skin lesions, wildlife attacks, and parasitosis. Group 3 (G3) presented moderate conditions regarding past and recent health. **Implications:** This study provides a foundation for designing tools to enhance livestock living conditions by identifying and addressing individuals with poor health and welfare. These actions benefit livestock and directly improve the quality of meat derived from them. **Conclusions:** Group 2 (G2) was identified as having the greatest health problems, while G3 showed intermediate conditions and G1 grouped cattle with better health indicators. These findings underscore the importance of implementing improved animal health and welfare practices in production units to enhance the quality of meat produced.

Key words: Animal welfare; body condition; skin lesions; parasitosis; main components; cluster analysis; Kruskal Wallis.

RESUMEN

Antecedentes: La carne de bovino ocupa el tercer lugar en consumo en el mercado mexicano, donde existe una notable diversidad en las fuentes de suministro y en los sistemas de manejo utilizados en las unidades de producción. Esta diversidad se refleja en las condiciones de salud y bienestar de los bovinos. **Objetivo:** Evaluar los indicadores de salud de bovinos de doble propósito en Michoacán, México, con el fin de promover la calidad en la industria cárnica. **Metodología:** Se recolectaron datos utilizando el protocolo adaptado de UC Davis Cow-Calf Health and Handling. Se aplicaron técnicas de estadística bivariada y multivariada (análisis de componentes principales y análisis de clúster) para analizar los datos. **Resultados:** Se identificaron seis factores que explican las condiciones de salud actual y pasada de los bovinos estudiados. A partir de estos, se obtuvieron tres grupos de bovinos con diferencias estadísticamente significativas en ocho indicadores clave. El Grupo 1 (G1) se caracterizó por una buena condición corporal y un estado de salud pasado favorable. El Grupo 2 (G2) mostró problemas recientes de salud, lesiones en la piel, ataques de fauna

† Submitted April 16, 2024 – Accepted August 28, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5569>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = L. A. Rojas-Sandoval: <https://orcid.org/0009-0006-2556-5958>; A. García-Martínez: <https://orcid.org/0000-0001-8021-5412>; P. García-Hernández: <https://orcid.org/0000-0002-2568-1303>; M. Á. Salas-Silva: <https://orcid.org/0000-0002-3655-9880>; J. Mondragón-Ancelmo: <https://orcid.org/0000-0002-4900-0728>

silvestre y parasitosis. El Grupo 3 (G3) presentó condiciones regulares en cuanto a salud pasada y reciente. **Implicaciones:** Este estudio proporciona una base para el diseño de herramientas que puedan mejorar las condiciones de vida del ganado, identificando y actuando sobre los individuos con bajos niveles de salud y bienestar. Estas acciones no solo benefician al ganado, sino que también mejoran directamente la calidad de la carne derivada de ellos. **Conclusiones:** El Grupo 2 (G2) fue identificado como el grupo con mayores problemas de salud, mientras que el G3 mostró condiciones intermedias y el G1 agrupó a los bovinos con mejores indicadores de salud. Estos hallazgos destacan la importancia de implementar mejores prácticas de sanidad y bienestar animal en las unidades de producción para mejorar la calidad de la carne producida. **Palabras clave:** Bienestar animal; condición corporal; lesiones en piel; parasitosis; componentes principales; análisis de clúster; Kruskal Wallis.

INTRODUCCIÓN

La actividad ganadera es fundamental en México. En 2022, se contabilizó una población de 36 millones de cabezas de bovinos en el territorio nacional (SIAP, 2022). Entre 2010 y 2021, la producción en este sector mostró un crecimiento constante, alcanzando en 2021 más de dos millones de toneladas métricas de carne producida (2,190,000), lo que representa un aumento del 16% en comparación con 2010 (Statista, 2022).

En México, se consumen carnes de diversas especies pecuarias (Benítez-Ramírez *et al.*, 2010; Rebollar-Rebollar *et al.*, 2014; Vélez *et al.*, 2016; Bobadilla-Soto *et al.*, 2021). En 2021, el consumo per cápita de carne de aves fue de 29.36 kg, 13.84 kg de carne de porcino, 8.71 kg de carne de bovino y 0.52 kg de carne de ovino (Statista, 2022). Por lo tanto, la carne de bovino es la tercera más consumida en el mercado mexicano, lo que se refleja en su uso extendido en la cocina mexicana y en las preferencias del consumidor final (Huerta-Leidenz *et al.*, 2014). Una de las principales razones de esta preferencia es que la población considera a la carne de bovino como un alimento de alto valor nutritivo, rico en proteínas, grasas, vitaminas y minerales esenciales para la salud humana (Cho *et al.*, 2008; Greenwood, 2021).

La carne de bovino se obtiene a través de diferentes sistemas de producción (Peel *et al.*, 2011), los cuales gestionan una amplia variedad de razas y cruces (Vázquez-Mendoza *et al.*, 2017). Las unidades de producción (UP) son diversas y utilizan distintas tecnologías para el manejo de bovinos de carne o de doble propósito (carne y leche) que influyen en las condiciones de bienestar (factores exógenos) y de salud (factores endógenos) de los animales (Shilov *et al.*, 2014), además de la calidad en los productos obtenidos mediante estos sistemas (Rojo-Rubio *et al.*, 2009). Por ello, las evaluaciones de salud son fundamentales para asegurar la integridad en la industria de producción de carne, la cual debe enfocarse en mejorar el bienestar animal en las UP (Duval *et al.*, 2018). Estas evaluaciones también pueden servir como una herramienta para informar a los consumidores sobre el cuidado de los animales de abasto (Luttikholt, 2007).

En este contexto, se han desarrollado protocolos para mejorar las condiciones de bienestar y salud de los animales, como el Welfare Quality Assessment Protocol for Dairy Cattle (Blokhuis, 2009), el UC Davis Cow-Calf Health and Handling (Simon *et al.*, 2016) y el Animal Needs Index for Cattle (Ani 35 L/2000-cattle) (Bartussek *et al.*, 2000). Estos protocolos han adaptado las recomendaciones de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) respecto a las condiciones de los sistemas de producción. Así, el monitoreo de granjas y animales se basa en las cinco libertades que rigen el bienestar animal: vivir libre de hambre, sed y desnutrición; libre de temor y angustia; libre de molestias físicas y térmicas; libre de dolor, lesión y enfermedad; y libre para manifestar un comportamiento natural (OMSA, 2022).

Con base en lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar indicadores de salud de bovinos de doble propósito en unidades de producción (UP) de Michoacán, México. Para ello, se aplicó la adaptación del protocolo UC Davis Cow-Calf Health and Handling (Simon *et al.*, 2016), basado en el Welfare Quality Assessment Protocol for Dairy Cattle (Blokhuis, 2009), y se utilizaron análisis estadísticos bivariados y multivariados para identificar grupos que reflejen el estado de salud de los animales estudiados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de trabajo

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Huetamo, Michoacán, ubicado entre las coordenadas geográficas 18°26' y 18°53' N y 100°49' y 101°30' O, a una altitud que varía entre 200 y 1,700 msnm. La región presenta un clima tropical y seco estepario según la clasificación de Köppen, con lluvias en verano, una precipitación anual de 975.5 mm y temperaturas que oscilan entre 20.8 y 37.1 °C (INEGI, 2010).

Muestra y método de monitoreo

De un censo de 1,800 unidades de producción (UP) registradas en la asociación ganadera local, se determinó la muestra de acuerdo con las indicaciones de Hernández-Sampieri y colaboradores (2014)

obtenido una muestra de 92 UP ($P < 0.05$). Posteriormente se realizó un submuestreo en función de tres grupos de UP identificados por Rojas-Sandoval y colaboradores (2024). En este sentido, se evaluaron 16 UP a las que se accedió con autorización de los propietarios. La población total en las 16 UP fue de 1,016 bovinos mayores de un año, con un promedio de 63.5 vacas por UP. Para el estudio se dio seguimiento a una muestra de 347 bovinos, seleccionados mediante un muestreo aleatorio simple, con un nivel de confianza del 95% y un error del 10%, con base a la tabla de muestreo indicada en la metodología de AWIN Welfare Assessment Protocol for Sheep (Animal Welfare Indicators, 2015). Los animales fueron evaluados durante la temporada de estiaje o sequía (febrero a mayo de 2019) en el corral de manejo, donde se realizó la contención para llevar a cabo las observaciones de su estado físico y signos clínicos (Figura 1).



Figura 1. Corral de manejo de una UP; Municipio de Huetamo, Michoacán (Autoría propia, 2019).

Protocolo de Evaluación

Se evaluó los indicadores de salud mediante la adaptación del protocolo UC Davis Cow-Calf Health and Handling (Simon, Hoar and Tucker, 2016). Los indicadores evaluados fueron: 1) garrapatas en el cuerpo del ganado, 2) mordeduras de murciélago, 3) claudicación, 4) cicatrices/costras, 5) heridas recientes, 6) condición corporal (evaluada en una escala de 1 a 5), 7) vacas delgadas (condición corporal ≤ 2), 8) lesiones en la piel por ectoparásitos (hiperqueratosis, alopecia), 9) secreción nasal, 10) tos, 11) disnea, 12) secreción ocular, 13) diarrea, 14) papilomas y 15) abscesos. Las evaluaciones se realizaron mediante inspecciones visuales a una distancia de entre 2 y 4

metros, registrando la presencia/ausencia de cada indicador en los animales observados.

Análisis de la información

Para el análisis de la información se emplearon métodos de estadística bivariada y multivariada. Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) con 12 de los 15 indicadores mencionados anteriormente (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15) para la reducción de datos (Hair *et al.*, 2018). El ajuste de los datos a esta técnica de análisis se corroboró mediante la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett (Bartlett, 1951; Kaiser, 1974). Para realizar un Análisis de Clústeres (AC) y tipificar los grupos se utilizaron los valores de carga para cada variable original, junto con tres variables complementarias (Zelerman, 2015). Posteriormente se realizó un análisis de varianza mediante el Modelo General Lineal en el programa SPSS 20. El modelo fue: $Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$. Dónde: Y_{ij} = variable dependiente proveniente del grupo i de su repetición j ($i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, 3 \dots r$), μ = media general, T_i = efecto fijo del grupo ($i = 1, 2, 3$ o 4) + ϵ_{ij} = error experimental. Para identificar diferencias entre grupos se realizó la prueba de Tukey ($P < 0.05$) y la prueba de Kruskal-Wallis para las variables que no presentaron una distribución normal (Zar, 2009).

RESULTADOS

Análisis de Componentes Principales (ACP)

El ACP obtuvo una medida de adecuación muestral KMO de 0.695 y un valor de p menor a 0.05 en la prueba de esfericidad de Bartlett (Chi-cuadrado = 507.489), lo que indica que el análisis factorial se ajustó adecuadamente a los datos. El análisis generó seis factores que explicaron el 73% de la varianza total (Tabla 1). El Factor 1, explicado por el mayor índice de correlación entre el nuevo factor y la variable original, fue denominado "Condición corporal", incluye animales con buena condición corporal y baja incidencia de secreción nasal. El Factor 2, "Estado de salud reciente", se refiere a la presencia de animales con heridas recientes en la piel y secreción ocular. El Factor 3, "Lesiones en la piel", define la presencia de animales con lesiones en la piel por ectoparásitos (hiperqueratosis y alopecia) y con abscesos. El Factor 4, "Estado de salud pasado", destaca la presencia de animales con claudicación y cicatrices antiguas en la piel/costras. El Factor 5, "Ataques de fauna silvestre", se caracteriza por la presencia de animales con mordeduras de murciélago y problemas de disnea. Finalmente, el Factor 6, "Parasitosis", se refiere a la presencia de animales con garrapatas y papilomas.

Tabla 1. Componentes principales del estado de salud y bienestar de los bovinos.

Variable	Componentes					
	Condición corporal	Estado de salud reciente	Lesiones en la piel	Estado de salud pasado	Ataques de fauna silvestre	Parasitosis
Garrapata	-0.005	0.408	0.146	-0.068	0.049	0.537
Mordida de murciélago	0.163	0.284	0.057	-0.120	0.725	0.006
Claudicación	0.099	-0.011	-0.112	0.655	0.011	-0.066
Cicatrices/costras en la piel	-0.284	-0.026	0.378	0.635	-0.032	-0.059
Heridas en la piel recientes	0.214	0.621	-0.073	0.443	0.128	0.076
Condición corporal (1-5)	0.627	-0.162	-0.037	0.037	-0.031	-0.091
Lesiones en la piel (ectoparásitos, hiperqueratosis, alopecia)	-0.175	-0.036	0.704	-0.027	-0.024	-0.056
Secreción nasal	-0.568	0.130	-0.224	0.026	-0.043	-0.357
Disnea	-0.150	-0.197	-0.081	0.151	0.673	0.077
Secreción ocular	-0.141	0.602	-0.151	-0.010	-0.054	-0.021
Papiloma	-0.072	-0.148	-0.128	-0.046	0.020	0.718
Abscesos	0.194	-0.029	0.658	0.011	-0.001	0.048
Autovalor	1.94	1.37	1.23	1.13	1.07	1.03
% de varianza explicado	16.77	12.37	11.44	11.43	10.61	10.57
% de varianza acumulado	16.77	29.15	40.59	52.02	62.64	73.21

Análisis de Clúster (AC)

Del Análisis de Clúster (AC) se obtuvieron tres grupos distintos de bovinos. En la Tabla 2 se muestra el grado de asociación de los seis factores del Análisis de Componentes Principales (ACP) con los grupos obtenidos en el AC ($p < 0.005$). La condición corporal y el estado de salud pasado del ganado fueron determinantes para definir el Grupo 1 (G1). Por otro lado, el estado de salud reciente, las lesiones en la piel, los ataques de fauna silvestre y la parasitosis definieron el Grupo 2 (G2). Finalmente, el Grupo 3 (G3) se caracterizó por una combinación del estado de salud pasado y reciente, junto con la condición corporal.

Comparación entre grupos

Para determinar las diferencias entre grupos, se aplicaron las pruebas de ANOVA y Kruskal-Wallis,

identificándose que ocho indicadores presentan diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.05$). Las diferencias más notables se observan principalmente entre los Grupos 1 (G1) y 2 (G2) (ver Tabla 3). Los individuos del G1 muestran el mejor estado de salud, mientras que los del G2 presentan diversos problemas en los indicadores evaluados.

DISCUSIÓN

Estudios previos han señalado que la condición corporal, las señales de ataques de fauna y/o parásitos, y los factores ambientales influyen en el bienestar y salud de los animales (Tadich, 2008). Esto coincide con los hallazgos de este estudio, ya que estas variables mostraron el mayor aporte a la varianza en el ACP (Tabla 1). Los análisis multivariados permiten analizar conjuntos de variables y entender cómo afectan conjuntamente un fenómeno determinado (Timm, 2002). Esto implica que el estado de salud de diferentes

Tabla 2. Grado de asociación de los seis factores del análisis de componentes principales, sobre los grupos obtenidos en el análisis de clúster.

Factor	Grupo		
	Grupo 1 44.1% ($n = 153$)	Grupo 2 30.8% ($n = 107$)	Grupo 3 25.1% ($n = 87$)
Condición corporal	0.631	-0.461	-0.543
Estado de salud reciente	-1.374	2.598	-0.779
Lesiones en la piel	-1.108	1.575	0.013
Estado de salud pasado	-0.916	0.612	0.857
Ataques de fauna silvestre	-0.777	1.547	-0.537
Parasitosis	-0.7088	1.1742	-0.1978
(Constante)	-1.983	-3.173	-1.742

Tabla 3. Estado de salud de bovinos de doble propósito en el trópico seco por grupo.

Factor/características	Grupo 1: 44.1% (n = 153)	Grupo 2: 30.8% (n = 107)	Grupo 3: 25.1% (n = 87)	Promedio (n = 347)	EEM	P
Garrapata	0.477 ^a	0.664 ^b	0.471 ^a	0.533	0.027	0.004*
Mordida de murciélago	0.000 ^a	0.290 ^b	0.000 ^a	0.089	0.015	0.000*
Claudicación	0.000	0.019	0.000	0.006	0.004	0.105 ^{ns}
Cicatrices/costras	0.020 ^a	0.486 ^b	1.000 ^c	0.409	0.026	0.000*
Heridas recientes	0.000 ^a	0.252 ^b	0.000 ^a	0.078	0.014	0.000*
Condición corporal (1-5)	2.401 ^b	2.274 ^a	2.326 ^a	2.343	0.022	0.039*
Vacas delgadas <=2	0.431	0.551	0.448	0.473	0.027	0.142 ^{ns}
Lesiones en la piel por ectoparásitos (hiperqueratosis, alopecia)	0.007 ^a	0.215 ^b	0.000 ^a	0.069	0.014	0.000*
Secreción nasal	0.359	0.383	0.437	0.386	0.026	0.497 ^{ns}
Tos	0.000	0.009	0.000	0.003	0.003	0.326 ^{ns}
Disnea	0.000	0.019	0.000	0.006	0.004	0.105 ^{ns}
Secreción ocular	0.000 ^a	0.150 ^b	0.000 ^a	0.046	0.011	0.000*
Diarrea	0.000 ^a	0.299 ^b	0.000 ^a	0.092	0.016	0.000*
Papiloma	0.000	0.009	0.000	0.003	0.003	0.326 ^{ns}
Abscesos	0.000	0.019	0.000	0.006	0.004	0.105 ^{ns}

*EEM: Error estándar de medida. ^{abc} Letras diferentes en fila, representan diferencias entre grupos (P<0.05).

especies ganaderas, incluyendo el bovino, puede ser evaluado mediante métodos multivariados que permiten una caracterización integral de los individuos.

Los grupos identificados mediante el análisis de clúster reflejan el estado de salud de los animales. Estudios anteriores han demostrado que la condición corporal y el estado de salud pasado (claudicación/cicatrices) son factores determinantes para la clasificación de los bovinos (Von Keyserlingk *et al.*, 2012; Roche *et al.*, 2015). Esto se refleja en el G1, que está compuesto por individuos con el mejor estado de salud observado entre los estudiados (Tabla 2).

Por otro lado, la presencia de lesiones en la piel, que son indicativas de parasitosis o ataques de determinadas especies como murciélagos o buitres, es relevante para identificar problemas de salud en los individuos (Duriez *et al.*, 2019; Sánchez-Gómez *et al.*, 2021). Con relación a estos indicadores, los individuos del G2 muestran una mayor incidencia de garrapatas, mordidas de murciélago, lesiones en la piel, heridas recientes, secreción ocular y diarrea, lo que indica que los animales del G2 presentan mayores problemas de bienestar y salud. El G3 mostró valores intermedios para cada uno de los factores mencionados (Tabla 2), por lo que se considera que está compuesto por individuos con una salud intermedia.

Los análisis bivariados revelaron diferencias significativas entre los grupos, confirmando que el G2 tiene problemas de salud. La mordedura de murciélago es más frecuente en el G2. Estos ataques afectan negativamente la salud de los bovinos debido a las

lesiones que causan pérdida de sangre (Romero-Almaráz *et al.*, 2006) y aumentan el riesgo de contraer enfermedades como la rabia parálitica bovina (Anderson *et al.*, 2014).

Otro indicador que mostró diferencias entre grupos fue la condición corporal. Los tres grupos tienen valores mayores que 2, pero menores que 3, lo que indica que se pueden considerar individuos delgados (Wildman *et al.*, 1982). Esta baja condición puede desencadenar infestaciones de parásitos (Jonsson, 2006), las cuales disminuyen la inmunidad del animal y lo hacen susceptible a complicaciones como enfermedades o parásitos (Manríquez *et al.*, 2021), trastornos reproductivos, producción de leche y riesgos de mortalidad (Moreira *et al.*, 2018; Manríquez *et al.*, 2021).

La claudicación y las lesiones en la piel se han reportado como indicadores de déficit en el bienestar y salud en bovinos (Von Keyserlingk *et al.*, 2012); estos dos factores son más frecuentes en el G2. La presencia de estas evidencias puede explicarse por las condiciones de las instalaciones, el manejo de las vacas y los biotipos del ganado (Kielland *et al.*, 2009; Ranjbar *et al.*, 2016). Por ejemplo, se ha reportado que las vacas en pastizales tienen menos lesiones en la piel (De Vries *et al.*, 2015). En contraste, las ubicadas en vegetación tropical pueden tener lesiones en las patas causadas por la erosión del cuerno del talón, fisuras en la línea blanca y dermatitis digital (Moreira *et al.*, 2018).

En cuanto a la secreción ocular, se identificó una mayor incidencia en el G2. Esta secreción puede

deberse a factores ambientales, como polvo arrastrado por el viento, irritación ocular por la altura del forraje, presencia de moscas o infecciones entre individuos enfermos (Maier *et al.*, 2020; Geden *et al.*, 2021). Por otro lado, la diarrea puede ser causada por infecciones, pero también por dietas ricas en proteínas o carbohidratos (Blanchard, 2012; Simon *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

Con base en indicadores de salud, el análisis multivariado permitió definir tres grupos de bovinos en este estudio. El G2 presenta los mayores problemas de salud, el G3 tiene condiciones intermedias, y el G1 muestra los mejores estados de salud. Esto sugiere que en las unidades productivas se pueden agrupar los animales según su bienestar y salud, lo que facilita la identificación y tratamiento de aquellos individuos con bajos niveles de salud, mejorando así la calidad de la carne producida. Este estudio proporciona una base para diseñar un instrumento que mejore las condiciones de vida del ganado a través de prácticas de producción optimizadas en las unidades productivas. La combinación de análisis bivariado y multivariado ofrece una visión integral de los factores que determinan el estado de salud de los bovinos estudiados.

Agradecimientos

A los productores de la llamada tierra caliente del Estado de Michoacán por permitir obtener información de sus unidades productivas de bovinos doble propósito.

Funding. The authors disclose that they did not receive any funding for the research conducted in this study.

Conflict of interest. Any conflict of interest does not influence the publication of this research.

Compliance with ethical standards. The authors declare that they have complied with national and international standards and the research presents original data that has not been sent to another journal. Likewise, it is reported that the producers received a satisfactory explanation about the study procedures and its purpose, and their participation was voluntary.

Data availability. The data is available through the corresponding author: jaimemond.01@gmail.com upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). L.A. Rojas-Sandoval - investigation, data curation, formal analysis, writing-original draft. A. García-Martínez - supervision, writing-review & editing. J. Mondragón-Ancelmo, supervision, writing-review & editing. P. García Hernández and M. A. Salas-Silva - review &

editing. J. Mondragón-Ancelmo - conceptualization, methodology, supervision, validation, project administration, writing-review & editing.

REFERENCES

- Anderson, A., Shwiff, S., Gebhardt, K., Ramírez, A.J., Shwiff, S., Kohler, D. and Lecuona, L., 2014. Economic evaluation of vampire bat (*Desmodus rotundus*) rabies prevention in Mexico. *Transboundary and Emerging Diseases*, 61(2), pp.140–146. <https://doi.org/10.1111/TBED.12007>
- Animal Welfare Indicators, 2015. AWIN welfare assessment protocol for sheep. Available at: <<https://neiker.eus/wp-content/uploads/2020/02/AWIN-Sheep.pdf>> [Accessed 12 April 2024].
- Bartlett, M.S., 1951. A further note on test of significance in factor analysis. *British Journal of Statistical Psychology*, [online] 4(1), pp.1–2. <https://doi.org/10.1111/J.2044-8317.1951.TB00299.X>
- Bartussek, H., Leeb, Ch. and Held, S., 2000. Animal needs index for cattle (Ani 35 L/2000-cattle). Federal Research Institute for Agriculture in Alpine Regions. Available at: https://raumberg-gumpenstein.at/jdownloads/Gesetze_Verordnungen/Animal_Needs_Index/3a_2000_animalindex.pdf [Accessed 12 April 2024].
- Benítez-Ramírez, J.G., García-Mata, R., Mora-Flores, J. and García-Salazar, J., 2010. Determinación de los factores que afectan el mercado de carne bovina en México. *Agrociencia*, [online] 44(1), pp.109–119. Available at: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952010000100011&script=sci_arttext [Accessed 12 April 2024].
- Blanchard, P.C., 2012. Diagnostics of Dairy and Beef Cattle Diarrhea. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 28(3), pp.443-464. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2012.07.002>
- Blokhuis, H.J., 2009. Welfare Quality® Assessment protocol for cattle. *Welfare Quality®*. Available at: <https://edepot.wur.nl/233467> [Accessed 12 April 2024].
- Bobadilla-Soto, E.E., Ochoa-Ambriz, F. and Perea-Peña, M., 2021. Lamb production and

- consumption dynamic in Mexico from 1970 to 2019. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), pp.963–982.
<https://doi.org/10.15517/AM.V32I3.44473>
- Cho, S.H., Kim, J.H., Seong, P.N., Cho, Y.M., Chung, W.T., Park, B.Y., Chung, M.O., Kim, D.H., Lee, J.M. and Ahn, C.N., 2008. Physico-chemical meat quality properties and nutritional composition of hanwoo steer beef with 1++ quality grade. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 28(4), pp.422–430.
<https://doi.org/10.5851/KOSFA.2008.28.4.422>
- Duriez, O., Descaves, S., Gallais, R., Neouze, R., Fluhr, J. and Decante, F., 2019. Vultures attacking livestock: A problem of vulture behavioural change or farmers' perception? *Bird Conservation International*, 29(3), pp.437–453.
<https://doi.org/10.1017/S0959270918000345>
- Duval, J.E., Bareille, N., Madouasse, A., De Joybert, M., Sjöström, K., Emanuelson, U., Bonnet-Beaugrand, F. and Fourichon, C., 2018. Evaluation of the impact of a Herd Health and Production Management programme in organic dairy cattle farms: A process evaluation approach. *Animal*, 12(7), pp.1475–1483.
<https://doi.org/10.1017/S1751731117002841>
- Geden, C.J., Nayduch, D., Scott, J.G., Burgess, E.R., Gerry, A.C., Kaufman, P.E., Thomson, J., Pickens, V. and Machtinger, E.T., 2021. House Fly (*Diptera: Muscidae*): Biology, Pest Status, Current Management Prospects, and Research Needs. *Journal of Integrated Pest Management*, 12(1).
<https://doi.org/10.1093/jipm/pmaa021>
- Greenwood, P.L., 2021. Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. *Animal*, 15(1).
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100295>
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. and Black, W., 2018. *Multivariate data analysis*. 8th ed. New York. Prentice Hall.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. and Basptista-Lucio, P., 2014. *Metodología de la Investigación*. Séptima ed. México. McGraw Hill.
- Huerta-Leidenz, N., Ruíz-Flores, A., Maldonado-Siman, E., Valdéz, A. and Belk, K.E., 2014. Survey of Mexican retail stores for US beef product. *Meat Science*, 96(2), pp.729–736.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.10.008>
- INEGI, 2010. Compendio de información geográfica municipal 2010. Huetamo, Michoacán de Ocampo. Available at: https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/16/16038.pdf [Accessed 12 April 2024].
- Jonsson, N.N., 2006. The productivity effects of cattle tick (*Boophilus microplus*) infestation on cattle, with particular reference to *Bos indicus* cattle and their crosses. *Veterinary Parasitology*, 137(1–2), pp.1–10.
<https://doi.org/10.1016/J.VETPAR.2006.01.010>
- Kaiser, H.F., 1974. An Index of Factorial Simplicity*. *Psychometrika*, 39, pp.31–36.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF02291575>
- Von Keyserlingk, M.A.G., Barrientos, A., Ito, K., Galo, E. and Weary, D.M., 2012. Benchmarking cow comfort on North American freestall dairies: Lameness, leg injuries, lying time, facility design, and management for high-producing Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(12), pp.7399–7408.
<https://doi.org/10.3168/jds.2012-5807>
- Kielland, C., Ruud, L.E., Zanella, A.J. and Østerås, O., 2009. Prevalence and risk factors for skin lesions on legs of dairy cattle housed in freestalls in Norway. *Journal of Dairy Science*, 92(11), pp.5487–5496.
<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2293>
- Luttikholt, L.W.M., 2007. Principles of organic agriculture as formulated by the International Federation of Organic Agriculture Movements. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 54(4), pp.347–360.
[https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(07\)80008-X](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(07)80008-X)
- Maier, G., Samah, F., Garzon, A., Fausak, E., Noord, M. Van, Okello, E. and Angelos, J., 2020. Protocol for a Scoping/Systematic Review: Non-antimicrobial approaches for the prevention or treatment of infectious bovine keratoconjunctivitis applicable to cow-calf operations. UC Davis Library Available at:

- <https://escholarship.org/uc/item/3p7072n6>
[Accessed 13 April 2024].
- Manríquez, D., Thatcher, W.W., Santos, J.E.P., Chebel, R.C., Galvão, K.N., Schuenemann, G.M., Bicalho, R.C., Gilbert, R.O., Rodriguez-Zas, S., Seabury, C.M., Rosa, G.J.M. and Pinedo, P., 2021. Effect of body condition change and health status during early lactation on performance and survival of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 104(12), pp.12785–12799. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-20091>
- Moreira, T.F., Nicolino, R.R., de Andrade, L.S., Filho, E.J.F. and de Carvalho, A.U., 2018. Prevalence of lameness and hoof lesions in all year-round grazing cattle in Brazil. *Tropical Animal Health and Production*, 50(8), pp.1829–1834. <https://doi.org/10.1007/S11250-018-1626-3>
- OMSA, 2022. Código Sanitario para los animales terrestres. Armonización de los programas nacionales de vigilancia y seguimiento de la resistencia a los agentes antimicrobianos. Organización Mundial de Sanidad Animal (WOAH). Available at: https://www.woah.org/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/es_index.htm [Accessed 13 April 2024].
- Peel, D.S., Mathews, K.H.Jr. and Johnson, R.J., 2011. Trade, the Expanding Mexican Beef Industry, and Feedlot and Stocker Cattle Production in Mexico. A Report from the Economic Research Service, Available at: www.ers.usda.gov [Accessed 13 April 2024].
- Ranjbar, S., Rabiee, A.R., Gunn, A. and House, J.K., 2016. Identifying risk factors associated with lameness in pasture-based dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 99(9), pp.7495–7505. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11142>
- Rebollar-Rebollar, A., Gómez-Tenorio, G., Hernández-Martínez A., Rebollar-Rebollar, S. and González-Razo, F.J., 2014. Comportamiento de la oferta y demanda regional de carne de cerdo en canal en México, 1994-2012. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(4), pp.377–392. Available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242014000400001&lng=es&tlng=es. [Accessed 12 April 2024].
- Roche, J.R., Meier, S., Heiser, A., Mitchell, M.D., Walker, C.G., Crookenden, M.A., Riboni, M.V., Loor, J.J. and Kay, J.K., 2015. Effects of precalving body condition score and prepartum feeding level on production, reproduction, and health parameters in pasture-based transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(10), pp.7164–7182. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9269>
- Rojas Sandoval, L.A., Albarrán Portillo, B., Mondragón Ancelmo, J., Martínez García, C.G. and García Martínez, A., 2024. La Ganadería de doble propósito en trópico seco: diversidad de unidades de producción y orientación productiva. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27(2). <https://doi.org/10.56369/tsaes.5459>
- Rojo-Rubio, R., Vázquez-Armijo, J.F., Pérez-Hernández, P., Mendoza-Martínez, G.D., Salem, A.Z.M., Albarrán-Portillo, B., González-Reyna, A., Hernández-Martínez, J., Rebollar-Rebollar, S., Cardoso-Jiménez, D., Dorantes-Coronado, E.J. and Gutiérrez-Cedillo, J.G., 2009. Dual purpose cattle production in Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 41(5), pp.715–721. <https://doi.org/10.1007/s11250-008-9249-8>
- Romero-Almaráz, M.L., Aguilar-Setién, A. and Sánchez-Hernández, C., 2006. *Murciélagos benéficos y vampiros: características, importancia, rabia, control y conservación*. 1a ed. Clasificación de murciélagos de América Latina y especies representativas. México. AGT Editor.
- Sánchez-Gómez, W.S., Selem-Salas, C.I., Córdova-Aldana, D.I. and Eroles-Villamil, J.A., 2021. Vampire Bat (*Desmodus Rotundus*) Abundance and Frequency of Attacks to Cattle in Landscapes of Yucatan, Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 54(2), p.130. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-639802/v1>
- Shilov A.I., Lyashuk R.N. and Shilov O.A., 2014. Endogenous and exogenous Factors at breeding exploitation of different cow breeds. *Boletín de Ciencias Agrarias*, 2(47), pp.36–38. Available at: <https://sciup.org/endogenous-and-exogenous-factors-at-breeding-and-exploitation-of-different-cow-147124535> [Accessed 12 April 2024].
- SIAP, 2022. Producción Ganadera. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

- Available at: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria> [Accessed 13 April 2024].
- Simon, G.E., Hoar, B.R. and Tucker, C.B., 2016. Assessing cow–calf welfare. Part 1: Benchmarking beef cow health and behavior, handling; and management, facilities, and producer perspectives. *Journal of Animal Science*, 94(8), pp.3476–3487. <https://doi.org/10.2527/JAS.2016-0308>
- Statista, 2022. Mexico: beef & veal meat production volume 2010-2022. Available at: <https://www.statista.com/statistics/999096/mexico-beef-veal-meat-production-volume/> [Accessed 13 April 2024].
- Tadich, N., 2008. Claudicaciones en la vaca lechera y su relación con el bienestar animal. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, IX(108), pp.1695–7504. Available at: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101008B/BA048.pdf> [Accessed 13 April 2024].
- Timm, N.H., 2002. *Applied Multivariate Analysis*. New York: Springer.
- Vázquez-Mendoza, O. V., Aranda-Osorio, G., Huerta-Bravo, M., Kholif, A.E., Elghandour, M.M.Y., Salem, A.Z.M. and Maldonado-Simán, E., 2017. Carcass and meat properties of six genotypes of young bulls finished under feedlot tropical conditions of Mexico. *Animal Production Science*, 57(6), pp.1186–1192. <https://doi.org/10.1071/AN141037>
- Vélez, A., Espinosa, J.A., De La Cruz, L., Rangel, J., Espinoza, I. and Barba, C., 2016. Caracterización de la producción de ovino de carne del estado de Hidalgo, México. *Archivos de Zootecnia*, 65(251), pp.425–428. <https://doi.org/10.21071/AZ.V65I251.708>
- De Vries, M., Bokkers, E.A.M., Van Reenen, C.G., Engel, B., Van Schaik, G., Dijkstra, T. and De Boer, I.J.M., 2015. Housing and management factors associated with indicators of dairy cattle welfare. *Preventive Veterinary Medicine*, 118, pp.80–92. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.11.016>
- Wildman, E.E., Jones, G.M., Wagner, P.E., Boman, R.L., Troutt, H.F. and Lesch, T.N., 1982. A Dairy Cow Body Condition Scoring System and Its Relationship to Selected Production Characteristics. *Journal of Dairy Science*, 65(3), pp.495–501. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82223-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82223-6)
- Zar, J.H., 2009. *Biostatistical Analysis*. 5th ed. New Jersey. Prentice Hall.
- Zelterman, D., 2015. *Applied Multivariate Statistics with R*. New York. Springer.