Sección: Artículo de Investigación
Asociación entre la reactividad comportamental y desempeño fenotípico en bovinos Nelore bajo condiciones comerciales de producción.
Artículo de Ocampo Olmedo DO, Tobal CF, Ortiz Bordas JC
CIENCIA VETERINARIA, Vol. 28, (2026) ISSN 1515-1883 (impreso) E-ISSN 1853-8495 (en línea)
DOI: http://doi.org/10.19137/cienvet.v289948

Asociación entre la reactividad comportamental y desempeño fenotípico en bovinos Nelore bajo condiciones comerciales de producción.

Association between behavioral reactivity and phenotypic performance traits in Nellore cattle under commercial production

Associação entre reatividade comportamental e desempenho fenotípico em bovinos Nelore em condições de produção comercial

Ocampos Olmedo DO[1] https://orcid.org/0000-0003-2741-8354, Tobal CF[2] https://orcid.org/0009-0006-5817-3635, Ortiz Bordas, JC [3] https://orcid.org/0000-0002-0674-0689

[1] Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo 111421, Paraguay.

[2] Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de La Pampa, calle 5 esq. 116- General Pico, La Pampa. Argentina.

[3] Técnico Consultor Genesys, Paraguay.

Correo electrónico: docamposolmedo@gmail.com
DOI: http://doi.org/10.19137/cienvet.v28.9948

Fecha de recibido: 25 de mayo de 2026 Fecha de aceptado para su publicación: 15 de octubre de 2026

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar la asociación entre la reactividad comportamental y características fenotípicas de crecimiento y desempeño productivo en bovinos Nelore criados bajo condiciones comerciales de producción en Paraguay. Se utilizaron registros históricos provenientes del Programa de Mejoramiento Genético de la Asociación Paraguaya de Criadores de Nelore (APCN), correspondientes a animales nacidos entre 2006 y 2020. Luego del proceso de edición y control de calidad, se analizaron 17.261 registros para peso al sobreaño ajustado para edad (PesoSaj), 8.277 para perímetro escrotal ajustado para edad (PEi) y 17.260 registros para temperamento y características visuales. La reactividad comportamental fue evaluada mediante una escala ordinal de 1 a 5 durante el manejo de los animales. Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando modelos lineales generales mediante el procedimiento GLM del software SAS®. El efecto del temperamento fue significativo (P < 0,0001) para todas las

Esta obra se publica bajo licencia Creative Commons 4.0 Internacional. (Atribución-No Comercial- Compartir Igual) a menos que se indique lo contrario, http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es

características evaluadas. Se observaron asociaciones negativas entre reactividad comportamental y PesoSaj, PEi y características visuales de conformación, precocidad y musculatura. Los resultados sugieren que animales con menor reactividad durante el manejo presentan mejores indicadores fenotípicos de crecimiento y desempeño productivo bajo condiciones tropicales de producción. Debido a la naturaleza observacional del estudio, las asociaciones observadas deben interpretarse como relaciones fenotípicas ajustadas y no como relaciones causales o genéticas directas. Los hallazgos aportan información relevante sobre la relación entre comportamiento y desempeño productivo en bovinos Nelore criados en sistemas comerciales tropicales.

Palabras clave: Comportamiento animal; *Bos indicus;* Crecimiento corporal; Eficiencia productiva; Temperamento bovino; Selección funcional

Abstract

The objective of this study was to evaluate the association between behavioral reactivity and phenotypic traits related to growth and productive performance in Nellore cattle raised under commercial production conditions in Paraguay. Historical records from the Genetic Improvement Program of the Paraguayan Nellore Breeders Association (APCN), including animals born between 2006 and 2020, were used. After data editing and quality control procedures, 17,261 records were analyzed for yearling weight adjusted for age (PesoSaj), 8,277 for scrotal circumference adjusted for age (PEi), and 17,260 records for temperament and visual appraisal traits. Behavioral reactivity was evaluated using an ordinal scale ranging from 1 to 5 during animal handling. Statistical analyses were performed using General Linear Models (GLM) through the GLM procedure of SAS® software. Temperament significantly affected all evaluated traits ($P < 0.0001$). Negative associations were observed between behavioral reactivity and PesoSaj, PEi, and visual appraisal traits related to conformation, precocity, and muscling. The results suggest that animals with lower behavioral reactivity during handling tend to exhibit better phenotypic indicators of growth and productive performance under tropical production conditions. Due to the observational nature of the study, the observed associations should be interpreted as adjusted phenotypic relationships rather than direct causal or genetic associations. These findings provide relevant information regarding the relationship between behavior and productive performance in Nellore cattle raised under commercial tropical production systems.

Keywords: Animal behavior; Bos indicus; Body growth; Cattle temperament; functional selection; Productive efficiency.

Resumo

O objetivo do presente estudo foi avaliar a associação entre a reatividade comportamental e características fenotípicas de crescimento e desempenho produtivo em bovinos Nelore criados sob condições comerciais de produção no Paraguai. Foram utilizados registros históricos provenientes do Programa de Melhoramento Genético da Associação Paraguaia de Criadores de Nelore (APCN), referentes a animais nascidos entre 2006 e 2020. Após o processo de edição e controle de qualidade dos dados, foram analisados 17.261 registros para peso ao sobreano ajustado para idade (PesoSaj), 8.277 para perímetro escrotal ajustado para idade (PEi) e 17.260 registros para temperamento e características visuais. A reatividade comportamental foi avaliada por meio de uma escala ordinal de 1 a 5 durante o manejo dos animais. As análises estatísticas foram realizadas utilizando modelos lineares gerais (GLM) por meio do procedimento GLM do software SAS®. O efeito do temperamento foi significativo ($P < 0,0001$) para todas as características avaliadas. Foram observadas associações negativas entre reatividade comportamental e PesoSaj, PEi e características visuais de conformação, precocidade e musculatura. Os resultados sugerem que animais com menor reatividade durante o manejo apresentam melhores indicadores fenotípicos de crescimento e desempenho produtivo sob condições tropicais. Devido à natureza observacional do estudo, as associações observadas devem ser interpretadas como relações fenotípicas ajustadas e não como relações causais ou genéticas diretas. Os achados fornecem informações relevantes sobre a relação entre comportamento e desempenho produtivo em bovinos Nelore criados em sistemas comerciais tropicais de produção

Palavras-chave: Comportamento animal; *Bos indicus*; Crescimento corporal; Seleção funcional; Temperamento bovino.

Introducción

La producción de carne bovina en Paraguay depende fuertemente de razas cebuinas, particularmente de bovinos Nelore, los cuales representan una proporción importante de la faena nacional y constituyen la base de numerosos sistemas de producción tropical y subtropical debido a su rusticidad, adaptabilidad y tolerancia al estrés ambiental. Sin embargo, los individuos de esta raza suelen presentar mayores niveles de reactividad comportamental durante el manejo en comparación con razas *Bos taurus*, manifestando respuestas más intensas frente al confinamiento, contacto humano y estímulos ambientales [1,2]

El comportamiento animal, y particularmente la reactividad frente al manejo, constituye un fenotipo complejo influenciado por la interacción entre factores genéticos,

ambientales y mecanismos neuroendocrinos. Su expresión depende de la integración funcional de diversas estructuras del sistema nervioso central, entre ellas la corteza prefrontal, la amígdala, el hipocampo y otras regiones del sistema límbico, responsables del procesamiento de estímulos, la memoria emocional y la modulación de la respuesta al estrés [3,4]. Estas estructuras regulan la activación coordinada del eje hipotálamo–pituitaria–adrenal (HPA), al sistema nervioso simpático, por tanto, a la liberación de glucocorticoides y catecolaminas [5,4], cuyas acciones modifican el metabolismo energético, el comportamiento ingestivo, la eficiencia de utilización de nutrientes, la función inmunológica y la partición de nutrientes entre procesos productivos y adaptativos.[6] Por lo tanto, estas respuestas fisiológicas pueden modificar el metabolismo energético, el comportamiento ingestivo, la eficiencia de utilización de nutrientes y la asignación de energía hacia procesos productivos o adaptativos.

En bovinos de carne, múltiples estudios han reportado asociaciones entre mayor reactividad y reducción en ganancia de peso, eficiencia alimenticia, calidad de carcasa y calidad de carne [7,8,9,10] Asimismo, la persistencia individual de las respuestas comportamentales y sus heredabilidades moderadas sugieren que estas características poseen una base biológica parcialmente estable y potencial interés dentro de programas de selección funcional [11,12,13]

Desde una perspectiva de ecología comportamental, las diferencias individuales en reactividad pueden interpretarse como estrategias adaptativas relacionadas con distintos *coping styles* o estilos de afrontamiento frente al estrés[4] Individuos más reactivos pueden presentar ventajas adaptativas en términos de vigilancia y respuesta frente a amenazas ambientales; sin embargo, bajo sistemas productivos intensificados o semi-intensivos, estas respuestas podrían generar costos metabólicos asociados con mayor actividad locomotora, incremento del gasto energético de mantenimiento y alteraciones fisiológicas que reduzcan la eficiencia productiva.

La evaluación del temperamento bovino ha sido realizada mediante distintas metodologías, incluyendo escalas de docilidad, *chute score* y velocidad de salida (flight speed), siendo esta última una de las más utilizadas por su repetibilidad y asociación con indicadores fisiológicos de estrés y desempeño productivo[1,6,9] No obstante, en sistemas comerciales de producción de Nelore en Paraguay aún existe limitada información científica sobre la magnitud de la asociación entre reactividad comportamental y características fenotípicas de crecimiento y desarrollo corporal bajo condiciones reales de producción.

Este vacío de información limita la incorporación de características comportamentales dentro de programas de mejoramiento genético y selección funcional adaptados a condiciones tropicales. En consecuencia, comprender la relación entre temperamento y desempeño productivo podría contribuir al desarrollo de estrategias de selección orientadas no solo a productividad, sino también a bienestar animal, facilidad de manejo y eficiencia biológica.

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la asociación entre el temperamento y características fenotípicas de crecimiento, desarrollo corporal y desempeño productivo en bovinos Nelore pertenecientes a sistemas comerciales de producción en Paraguay. Se planteó como hipótesis que animales con menor reactividad comportamental durante el manejo presentan mejores indicadores fenotípicos de crecimiento y desarrollo corporal en comparación con animales más reactivos.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó utilizando registros históricos provenientes de establecimientos comerciales participantes del Programa de Mejoramiento Genético de la Asociación Paraguaya de Criadores de Nelore (APCN), coordinado por la empresa GenSys Consultores®. Los establecimientos se encontraban distribuidos principalmente en la región oriental del Paraguay, con participación puntual de sistemas productivos localizados en la región occidental. Inicialmente se consideraron 35.758 bovinos de la raza Nelore, nacidos entre los años 2006 y 2020 y evaluados al sobreaño, entre los 15 y 18 meses de edad. La población estuvo compuesta por 18.300 hembras y 17.458 machos. Luego del proceso de edición y control de calidad de los datos, el número final de observaciones utilizadas en cada análisis fue de 17.261 para peso al sobreaño ajustado (PesoSaj), 8.277 para perímetro escrotal ajustado (PEi) y 17.260 registros para las variables de temperamento (TE) y evaluaciones visuales.

Los animales fueron criados predominantemente bajo sistemas pastoriles, utilizando pasturas naturales e implantadas, con suplementación mineral permanente y suplementación proteico-energética estratégica durante períodos de menor disponibilidad forrajera. El destete se realizó entre los 7 y 8 meses de edad, y parte de los animales recibió suplementación mediante creep feeding durante la fase pre-destete. Posteriormente, los animales fueron recriados bajo condiciones comerciales típicas de sistemas tropicales y subtropicales de producción. Previo a las evaluaciones, los animales fueron sometidos a un período de ayuno aproximado de 12 ± 2 horas, con el objetivo de reducir la variabilidad asociada al contenido gastrointestinal y estandarizar las condiciones de medición.

Los animales fueron agrupados en grupos contemporáneos (GC), definidos como conjuntos de individuos del mismo sexo, pertenecientes al mismo establecimiento, sometidos a similares condiciones de manejo, alimentación y período de evaluación. Operacionalmente, los GC fueron conformados considerando la combinación de: establecimiento (hato), grupo de manejo, estación de nacimiento (otoño o primavera), sexo, y lote o grupo de evaluación.

Se analizaron las siguientes características fenotípicas: el peso al sobreaño ajustado para edad (PesoSaj; kg), el perímetro escrotal ajustado para edad (PEi; cm), la conformación al sobreaño (CS), la precocidad al sobreaño (PS), la musculatura al sobreaño (MS), el temperamento (TE). El peso vivo fue registrado utilizando una balanza calibrada inmediatamente posterior a la contención de los animales en brete. El perímetro escrotal fue medido con un escrotímetro flexible, tomando la circunferencia máxima de la bolsa escrotal con el animal contenido en manga. Las características visuales de CS, PS y MS fueron evaluadas mediante puntuaciones relativas dentro de cada grupo contemporáneo, utilizando escalas de 1 a 5, en la cual valores superiores indican mayor expresión fenotípica de la característica evaluada. La CS se relacionó con el potencial estimado de producción de carne y desarrollo corporal del animal. La PS representó el potencial de terminación y deposición de tejidos, mientras que MS reflejó el desarrollo muscular observable en regiones anatómicas específicas. Este criterio de valoración ha sido descripto y utilizado en programas de mejoramiento genético de bovinos de carne, particularmente en rebaños de Nelore, debido a su utilidad como herramienta auxiliar de selección y a su asociación con características de crecimiento, composición corporal y merito genético [14,15,16,17]

El temperamento fue definido operacionalmente como la reactividad comportamental del animal frente al manejo humano y al ambiente de corral durante la evaluación. La reactividad comportamental fue evaluada al momento de la salida del animal de la balanza, considerando su respuesta conductual frente al confinamiento y a la presencia humana en un área restringida. Se utilizó una escala ordinal de 1 a 5 adoptada por el sistema GenSys®, donde: 1 = muy dócil, 2 = dócil, 4 = excitado, 5 = agresivo. La categoría intermedia (3) fue deliberadamente excluida del protocolo de evaluación con el propósito de evitar clasificaciones ambiguas, reducir la tendencia del evaluador a asignar puntuaciones centrales y aumentar la capacidad de discriminación entre animales predominantemente dóciles y predominantemente reactivos, favoreciendo la consistencia de las evaluaciones entre observadores y la posterior utilización de la información en programas de mejoramiento genético. Todas las evaluaciones fueron realizadas por técnicos previamente capacitados y estandarizados por GenSys Consultores®, siguiendo protocolos operativos comunes entre establecimientos y años de evaluación para minimizar la variabilidad asociada al observador y mejorar la consistencia de los registros.

Los registros fueron sometidos a procedimientos de edición y control de calidad previamente al análisis estadístico. Se eliminaron: animales sin registros de temperamento, observaciones incompletas, y registros considerados inconsistentes biológicamente o fuera de rangos plausibles para las características analizadas. El número final de observaciones varió según la variable evaluada debido a diferencias en disponibilidad de registros válidos.

Las variables analizadas fueron previamente ajustadas para edad mediante factores de corrección derivados del sistema Alianza Nelore (GenSys®, 2023), utilizando modelos de

regresión que consideran efectos lineales y cuadráticos de: edad del animal, edad de la madre al parto y sexo. Los valores fueron estandarizados para una edad de referencia de 500 días, por lo que la edad no fue incluida explícitamente como covariable en los modelos estadísticos posteriores. Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el procedimiento GLM del software SAS (Statistical Analysis System, versión 9.4). Para cada característica dependiente se ajustó el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + GC_i + \beta(TE_{ij}) + \varepsilon_{ij}$$

donde,

Y_{ij}= valor observado de la variable dependiente;

μ= media general;

GC_i= efecto fijo del i-ésimo grupo contemporáneo;

β= coeficiente de regresión asociado al temperamento;

TE_{ij}= puntuación de temperamento del j-ésimo animal;

ε_{ij}= error aleatorio residual.

El efecto de grupo contemporáneo fue incluido en el modelo estadístico como efecto fijo, con el objetivo de controlar parte de la variabilidad ambiental sistemática asociada a diferencias de manejo, nutrición, establecimiento, condiciones ambientales y período de evaluación. La significancia estadística del efecto del temperamento fue evaluada mediante pruebas F, considerando un nivel de significancia $p<0,05$.

La significancia estadística del efecto de temperamento fue evaluada mediante pruebas F, considerando un nivel de significancia de $P < 0,05$. Aunque la puntuación de temperamento (TE) corresponde a una variable ordinal y no posee una unidad física continua, fue incorporada al Modelo Lineal General (GLM) como covariable continúa debido a que la escala representa una progresión ordenada de la reactividad comportamental y es utilizada de forma rutinaria en programas de evaluación fenotípica y mejoramiento genético de bovinos Nelore. Este enfoque analítico ha sido adoptado previamente en estudios sobre temperamento bovino [1,9] No obstante, el tratamiento de una variable ordinal como predictor continuo constituye una simplificación metodológica. En consecuencia, los coeficientes de regresión estimados deben interpretarse como cambios esperados en la variable respuesta asociados a incrementos unitarios en la puntuación de temperamento y no como diferencias expresadas en unidades métricas directas. La relación entre temperamento y las variables de desempeño fue interpretada mediante los coeficientes de regresión estimados por el modelo, los cuales representan el cambio esperado en la variable dependiente ante incrementos unitarios en la puntuación de reactividad comportamental. El coeficiente de

determinación (R^2) fue utilizado únicamente como medida de ajuste global del modelo, reflejando la proporción de variabilidad explicada conjuntamente por el grupo contemporáneo y el temperamento. En consecuencia, el R^2 no fue interpretado como estimador de correlaciones fenotípicas entre variables. Debido a la naturaleza observacional del estudio y a la estructura del modelo utilizado, los resultados fueron interpretados como asociaciones fenotípicas ajustadas por grupo contemporáneo, sin inferir relaciones causales ni asociaciones genéticas directas entre las características evaluadas.

Resultados y Discusión

Los estadísticos descriptivos de las variables evaluadas se presentan en la **Tabla 1**. La puntuación media de reactividad comportamental (TE) fue de 2,04 ± 0,90, indicando predominancia de animales clasificados como dóciles o moderadamente dóciles dentro de la población analizada. El peso al sobreaño ajustado para edad (PesoSaj) presentó media de 283,93 ± 57,13 kg, mientras que el perímetro escrotal ajustado (PEi) fue de 25,77 ± 4,68 cm. Las características visuales de CS, PS y MS presentaron medias de 3,30 ± 1,09; 3,46 ± 1,14 y 3,19 ± 1,10, respectivamente.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las variables fenotípicas evaluadas en Bovinos Nelore al sobreaño.

Variable	n	Media	DE	CV (%)	Mínimo	Máximo
TE	17.266	2,04	0.90	44,12	1	5
PesoSaj (kg)	17.261	283,93	57,13	20,12	153,40	543,70
PEi (cm)	8.277	25,77	4,68	18,16	16	43,20
CS	17.261	3,30	1,09	33,03	1	5
PS	17.264	3,46	1,14	32,95	1	5
MS	17.264	3,19	1,10	34,48	1	5

TE: temperamento; PesoSaj: peso ajustado al sobre año; Pei: perímetro escrotal ajustado por edad; CS: conformación; PS: precocidad; MS: musculatura; DE: desvío estándar; CV: coeficiente de variación.

Los coeficientes de variación observados para PesoSaj y PEi fueron moderados, sugiriendo adecuada amplitud fenotípica para la evaluación de asociaciones entre comportamiento y desempeño productivo. En contraste, las variables visuales

presentaron mayor dispersión relativa, situación esperable debido a la naturaleza subjetiva y ordinal de dichas evaluaciones fenotípicas [18]

La distribución observada para TE sugiere que la mayor parte de los animales presentó baja a moderada reactividad durante el manejo. Este patrón podría reflejar procesos históricos de selección indirecta hacia animales más adaptados al manejo humano y a sistemas comerciales intensificados, particularmente en poblaciones *Bos indicus* sometidas durante varias generaciones a programas de selección funcional y evaluación fenotípica rutinaria [1,12]

Desde una perspectiva biológica, la reactividad comportamental representa un fenotipo complejo influenciado por mecanismos neuroendocrinos, fisiológicos y ambientales. Estudios previos indican que animales más reactivos tienden a presentar mayor activación simpática y mayor respuesta del eje hipotálamo–pituitaria–adrenal frente al estrés de manejo, lo cual podría alterar patrones de ingestión, metabolismo energético y eficiencia biológica general [6,19,4]

Los resultados del análisis de varianza y los parámetros del modelo para PesoSaj se presentan en la **Tabla 2.** El efecto de la reactividad comportamental fue significativo ($P < 0,0001$), observándose una disminución estimada de 4,39 kg en PesoSaj por cada incremento unitario en la puntuación de temperamento. Esto indica que, dentro de la escala evaluada y después del ajuste por grupo contemporáneo, cada incremento unitario en la puntuación de temperamento estuvo asociado con una disminución estimada de 4,39 kg en el peso ajustado al sobreaño.

Tabla 2. Análisis de varianza y parámetros del modelo para el efecto de la reactividad comportamental sobre Peso ajustado al sobreaño (PesoSaj) en Bovinos Nelore.

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	P
Modelo	303	46.894.949,43	154.768,81	277,82	<0,0001
Error	16.957	9.446.325,24	557,08	—	—
Total	17.260	56.341.274,67	—	—	—

Parámetro	Valor
β TE (kg/unidad)	-4,3857
R^2	0,8323
CV (%)	8,31
RMS	23,60

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	P
Media PesoSaj (kg)		283,93			

β TE: cambio esperado en PesoSaj por incremento unitario en la puntuación de reactividad comportamental; R^2: coeficiente de determinación del modelo ajustado, interpretado como medida de ajuste global y no como correlación fenotípica; GC: grupo contemporáneo; RMS: raíz del cuadrado medio del error.

Considerando la amplitud de la escala utilizada, el modelo estima una diferencia de aproximadamente 17,5 kg de PesoSaj entre animales clasificados como muy dóciles (TE = 1) y altamente reactivos (TE = 5). Esta magnitud sugiere que la asociación observada podría tener relevancia productiva en sistemas comerciales de recría y terminación, aunque debe interpretarse como una tendencia fenotípica ajustada y no como evidencia de una relación causal.

El modelo presentó un coeficiente de determinación elevado (R^2 = 0,83) y una variabilidad residual moderada (CV = 8,31%). Sin embargo, el R^2 representa la capacidad explicativa conjunta de los efectos incluidos en el modelo, particularmente del grupo contemporáneo y del temperamento, y no una medida de correlación fenotípica directa entre ambas variables.

La asociación negativa observada entre reactividad y crecimiento corporal coincide con diversos trabajos realizados en bovinos *Bos indicus* y sus cruzamientos. Burrow y Dillon (1997) [2] reportaron menores ganancias de peso en animales más excitables mantenidos en feedlot, mientras que Voisinet et al. (1997b) [8] observaron que bovinos con temperamentos más reactivos presentaban menor ganancia diaria de peso comparados con animales más dóciles. Posteriormente, Cafe et al. (2011) [9] documentaron asociaciones persistentes entre temperamento, productividad, eficiencia alimenticia y características de carcasa.

Sin embargo, la magnitud del efecto observada en el presente estudio fue relativamente superior a parte de los valores reportados en la literatura internacional. Esta discrepancia podría estar asociada a diferencias metodológicas entre estudios, estructura poblacional, intensidad de selección, ambiente tropical, interacción genotipo–ambiente o características particulares de manejo presentes en sistemas comerciales paraguayos.

Desde una perspectiva fisiológica, animales más reactivos podrían presentar mayores costos metabólicos asociados con incrementos de la actividad locomotora, la vigilancia ambiental y la respuesta neuroendocrina frente al manejo. La activación repetida del eje hipotálamo–pituitaria–adrenal podría modificar la partición energética y reducir parcialmente la eficiencia de utilización de nutrientes destinados al crecimiento corporal. [6,19]

Adicionalmente, dentro del marco conceptual de *coping styles*, individuos más reactivos podrían priorizar respuestas defensivas rápidas frente a estímulos ambientales potencialmente amenazantes. [4] Aunque estas estrategias pueden conferir ventajas

adaptativas bajo condiciones extensivas o ambientes altamente variables, en sistemas productivos orientados a maximizar la eficiencia biológica podrían generar mayores costos energéticos y menor eficiencia productiva. [1,9]

A pesar de la consistencia biológica observada, debe considerarse que parte de la asociación detectada podría estar influenciada indirectamente por factores ambientales no completamente capturados por la estructura del modelo estadístico, incluyendo diferencias de manejo, habituación al contacto humano y variabilidad nutricional entre establecimientos.

Los resultados correspondientes al análisis de varianza y parámetros del modelo para evaluar la reactividad comportamental y el PEi se presentan en la **Tabla 3**. El efecto de la reactividad comportamental fue significativo ($P < 0,0001$), observándose una reducción estimada de 0,25 cm en PEi por cada incremento unitario en la puntuación de temperamento.**Tabla 3.** Análisis de varianza y parámetros del modelo para el efecto de la reactividad comportamental sobre el perímetro escrotal ajustado para edad (PEi) en bovinos Nelore.

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	P
Modelo	153	131.393,41	858,78	140,37	<0,0001
Error	8.123	49.695,99	6,12	—	—
Total	8.276	181.089,40	—	—	—

Parámetro	Valor
β TE (cm/unidad)	-0,2494
R^2	0,7256
CV (%)	9,60
RMS	2,47
Media PEi (cm)	25,78

β TE = cambio esperado en PEi por incremento unitario en la puntuación de reactividad comportamental; R^2 = coeficiente de determinación del modelo ajustado; RMS = raíz del cuadrado medio del error; GC = grupo contemporáneo.

Aunque la magnitud absoluta del efecto fue moderada, el hallazgo posee relevancia funcional debido a la importancia del perímetro escrotal como indicador indirecto de desarrollo sexual, capacidad espermática y precocidad reproductiva en bovinos de carne. (20)

Valente et al. (2015) [20] reportaron asociaciones genéticas entre indicadores de temperamento y características relacionadas con precocidad sexual en bovinos Nelore, sugiriendo que comportamiento y desarrollo reproductivo podrían compartir parcialmente mecanismos fisiológicos y biológicos comunes.

En términos fisiológicos, animales más reactivos podrían presentar mayor activación de respuestas al estrés, con posibles efectos indirectos sobre partición energética y desarrollo reproductivo. [19] Sin embargo, debido a la ausencia de mediciones endocrinológicas directas, esta interpretación debe considerarse únicamente como hipótesis fisiológica compatible con los resultados obtenidos.

No obstante, debido a la naturaleza observacional del estudio, no resulta posible establecer relaciones causales directas entre comportamiento y desarrollo testicular. Parte de la asociación detectada podría reflejar interacciones complejas entre ambiente, crecimiento corporal, manejo y adaptación conductual.

Los coeficientes de regresión y parámetros estadísticos correspondientes a la asociación entre la reactividad comportamental y las características visuales de CS, PS y MS se presentan en la **Tabla 4**. El efecto de la reactividad comportamental fue significativo para todas las variables evaluadas ($P < 0,0001$).

Tabla 4. Coeficientes de regresión y parámetros estadísticos de la asociación entre la reactividad comportamental y las características visuales de conformación (CS), precocidad (PS) y musculatura (MS) en bovinos Nelore.

Variable	N	β	R^2	CV (%)	RMS	Media	F	P
CS	17.261	−0,1354	0,1651	30,37	1,0011	3,2960	10,24	<0,0001
PS	17.264	−0,1752	0,2052	29,62	1,0234	3,4555	13,38	<0,0001
MS	17.264	−0,1307	0,1209	32,63	1,0425	3,1947	7,13	<0,0001

β: coeficiente de regresión lineal de la característica sobre la puntuación de temperamento; R^2: coeficiente de determinación del modelo; CV: coeficiente de variación; RMS: raíz del cuadrado medio del error.

La magnitud de las pendientes estimadas indicó disminuciones de 0,14; 0,18 y 0,13 unidades para CS, PS y MS, respectivamente, por cada incremento unitario en la puntuación de temperamento. La mayor magnitud de la pendiente se observó para precosidad (PS), indicando una asociación más acentuada para precocidad (PS), sugiriendo posible relación entre reactividad comportamental y esta característica. Este resultado es consistente con la naturaleza de la PS como indicador capacidad de deposición tisular o terminación corporal.

Aunque la magnitud absoluta de los coeficientes fue moderada, y las tres características mostraron una respuesta direccional consistente, con menores puntuaciones visuales a medida que aumento la reactividad comportamental. En conjunto, esto podría indicar que

animales menos reactivos tienden a expresar fenotipos más compatibles con mayor desarrollo corporal y eficiencia productiva bajo condiciones comerciales de producción.

Los coeficientes de determinación de los modelos observados para estas variables fueron relativamente bajos (R^2 entre 0,12 y 0,21), indicando que gran parte de la variabilidad fenotípica no fue explicada por los efectos considerados en los modelos. Dado que la R^2 refleja conjuntamente el efecto del grupo contemporáneo y del temperamento, estos valores no deben interpretarse como la proporción de variación explicada exclusivamente por la reactividad comportamental. Este resultado era esperable considerando el carácter multifactorial de las evaluaciones visuales y la naturaleza subjetiva inherente a este tipo de mediciones.

Diversos autores han reportado que características visuales relacionadas con conformación, musculatura y precocidad poseen asociación funcional con desempeño productivo y eficiencia biológica en bovinos de carne [.18] En este contexto, los resultados obtenidos sugieren que diferencias comportamentales podrían estar parcialmente vinculadas con estrategias fisiológicas y metabólicas distintas entre individuos.

Asimismo, Sant'Anna et al. (2012) [12] reportaron asociaciones genéticas entre velocidad de salida y características de crecimiento en bovinos Nelore, mientras que Kadel et al. (2006) [11] discutieron el potencial uso de indicadores de temperamento como criterios de selección funcional en razas tropicalmente adaptadas. Más recientemente, Freitas et al. (2023) [21] reportaron parámetros genéticos moderados para características relacionadas con temperamento y crecimiento en bovinos Nelore, reforzando la posibilidad de integración de fenotipos comportamentales dentro de programas de selección funcional.

No obstante, la interpretación de estos hallazgos debe realizarse considerando el alcance metodológico del presente estudio. En este trabajo el grupo contemporáneo fue modelado como efecto fijo con el objetivo de controlar la variabilidad ambiental sistemática y estimar asociaciones fenotípicas ajustadas entre el temperamento y las características evaluadas. Si bien esta estrategia fue consistente con el objetivo del estudio y con la estructura del conjunto de datos, futuras investigaciones orientadas a la estimación de componentes de varianza, parámetros genéticos o al análisis de estructuras jerárquicas más complejas podrían beneficiarse de la aplicación de modelos mixtos, en los que el grupo contemporáneo o alguno de sus componentes sean considerados como efectos aleatorios.

El presente estudio no estimó heredabilidades ni correlaciones genéticas. Por tanto, los resultados deben interpretarse como asociaciones fenotípicas ajustadas por grupo contemporáneo y no como asociaciones genéticas directas. En conjunto, los resultados sugieren que una menor reactividad comportamental se asocia con mayores valores de peso ajustado al sobreaño, perímetro escrotal y puntaciones visuales de CM, PS y MS en bovinos Nelore bajo condiciones tropicales de producción. El principal aporte del estudio radica en documentar, a partir de una amplia base de datos provenientes de sistemas

comerciales, asociaciones fenotípicas consistentes entre la reactividad comportamental y características de relevancia productiva en *Bos indicus*.

Conclusiones

La reactividad comportamental presentó relaciones fenotípicas consistentes con las características evaluadas en bovinos Nelore criados bajo condiciones comerciales de producción tropical. Animales con mayores puntuaciones de reactividad tendieron a presentar menores valores ajustados de peso al sobreaño, perímetro escrotal y características visuales de conformación, precocidad y musculatura. En conjunto estos resultados sugieren que características relacionadas con menor excitabilidad y mayor facilidad de manejo lo que respalda la consideración del temperamento como criterio complementario de evaluación fenotípica de bovinos Nelore. No obstante, debido a la naturaleza observacional del estudio, las asociaciones identificadas deben interpretarse como relaciones fenotípicas ajustadas y no como relaciones causales o asociaciones genéticas directas.

Implicaciones

La incorporación de evaluaciones comportamentales simples dentro de programas rutinarios de evaluación fenotípica podría contribuir al desarrollo de estrategias de selección y manejo orientadas a integrar productividad, adaptabilidad y facilidad de manejo en bovinos *Bos indicus.* Estudios futuros incorporando modelos mixtos, información genética y mediciones fisiológicas permitirían profundizar la comprensión de la relación entre temperamento y eficiencia productiva en sistemas tropicales de producción.

Bibliografía

1. Burrow HM. Measurements of temperament and their relationships with performance traits of beef cattle. *Animal Breeding Abstracts,1997; 65*(7), 477–495.
2. Burrow HM, Dillon RD Relationships between temperament and growth in a feedlot and commercial carcass traits of *Bos indicus* crossbreds. *Australian Journal of Experimental Agriculture, 1997; 37*(4), 407–411. https://doi.org/10.1071/EA96148
3. LeDoux JE Emotion circuits in the brain. Annual Review of Neuroscience, 2000; 23, 155–184. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.23.1.155
4. Koolhaas JM, de Boer SF, Coppens CM, Buwalda B. Neuroendocrinology of coping styles: Towards understanding the biology of individual variation. *Frontiers in Neuroendocrinology, 2010; 31*(3), 307–321. https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2010.04.001
5. Moberg GP, Mench JA, (Eds.). Biological response to stress: Implications for animal welfare. In G. P. Moberg & J. A. Mench (Eds.), *The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare 2000;* (pp. 1–21). CABI Publishing.
6. Curley KO, et al. Functional characteristics of the bovine hypothalamic–pituitary–adrenal axis vary with temperament. *Hormones and Behavior, 2008; 53*(1), 20–27. https://doi.org/10.1016/j.yhbeh.2007.08.005
7. Voisinet BD, Grandin T, O'Connor SF, Tatum JD, Deesing MJ, *Bos indicus*-cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Science, (1997a) 46*(4), 367–377. https://doi.org/10.1016/S0309-1740(97)00031-0.
8. Voisinet BD, Grandin T, Tatum JD, O'Connor SF, Struthers JJ (1997b). Feedlot cattle with calm temperaments have higher average daily gains than cattle with excitable temperaments. *Journal of Animal Science, (1997b) 75*(4), 892–896. https://doi.org/10.2527/1997.754892x
9. Cafe LM, Robinson DL, Ferguson DM, McIntyre BL, Geesink GA, Greenwood PL. Cattle temperament: Persistence of assessments and associations with productivity, efficiency, carcass and meat quality traits. *Journal of Animal Science;2011 89*(5), 1452–1465. https://doi.org/10.2527/jas.2010-3304.
10. Hoppe S, Brandt HR, Konig S, Erhardt G, Gauly M. Temperament traits of beef calves measured under field conditions and their relationships to performance. *Journal of Animal Science,2010; 88*(6), 1982–1989. https://doi.org/10.2527/jas.2008-1557
11. Kadel MJ, Johnston DJ, Burrow HM, Graser HU, Ferguson DM. Genetics of flight time and other measures of temperament and their value as selection criteria for improving meat quality traits in tropically adapted breeds of beef cattle. Australian Journal of Agricultural Research, 2006; 57,1029-1035. https://doi.org/10.1071/AR05082

12. Sant'Anna AC, Paranhos da Costa MJR, Baldi F, Rueda PM, Albuquerque LG,Genetic associations between flight speed and growth traits in Nellore cattle. *Journal of Animal Science,2012; 90*, 3427–3432. https://doi.org/10.2527/jas.2011-5044
13. Haskell MJ, Simm G, Turner SP, Genetic selection for temperament traits in dairy and beef cattle. *Frontiers in Genetics, 2014; 5*, 368. https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00368
14. Koury Filho W. (2005). *Escores visuais e suas relações com características de crescimento em bovinos de corte* (Tese de Doutorado em Zootecnia – Produção Animal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil
15. Faria CU, Magnabosco CU, Albuquerque LG, Bezerra LAF, Lobo RB**.** Avaliação genética de características de escores visuais de bovinos da raça Nelore da desmama até a maturidade. *Revista Brasileira de Zootecnia, 2009; 38*(7), 1191–1200. https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000700005
16. Forni S, Federici JF, Albuquerque LG, Alencar M**M.** Genetic trends in Nellore cattle selected for visual scores of conformations, precocity and musculature at weaning. *Revista Brasileira de Zootecnia, 2007; 36*(3), 572–577. https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000300008
17. Faria CU et al. Utilização de escores visuais de características morfológicas de bovinos Nelore como ferramenta para o melhoramento genético animal2007, (Documentos 177). Planaltina, DF: Embrapa Cerrados.
18. Da Silveira DD, et al. Genetic analysis of growth, visual scores, height, and carcass traits in nelore cattle. Animal Science Journal, 2021; 92(1), e13611. https://doi.org/10.1111/asj.1361
19. Cooke RF Bill E. Kunkle Interdisciplinary Beef Symposium: Temperament and acclimation to human handling influence growth, health, and reproductive responses in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science, 2014; 92*(12), 5325–5333. https://doi.org/10.2527/jas.2014-8017
20. Valente TS, Sant'Anna A, Baldi F, Albuquerque LG, Paranhos da Costa MJR Genetic association between temperament and sexual precocity indicator traits in Nellore cattle. *Journal of Applied Genetics*, 2015; 56(3), 349–354. https://doi.org/10.1007/s13353-014-0259-0
21. Freitas AP, et al. Genetic parameters for behavioral and growth traits of Nellore cattle. *Journal of Animal Science*, 2023; *101*, skad280.

Declaración de conflictos de intereses:

No se presentaron conflictos de intereses durante la consecución de los trabajos.

CrediT:

Todos los autores contribuyeron a la concepción y el diseño del estudio. La preparación del material, la recopilación y el análisis de datos fueron realizados por Diego Avilio Ocampos Olmedo y Claudio Fabian Tobal, los datos de campo por Jose Carlos Ortiz

Bordas. El primer borrador del manuscrito fue escrito por Diego Avilio Ocampos Olmedo y todos los autores comentaron las versiones anteriores del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.“Supervisión: Diego Avilio Ocampos Olmedo, Claudio Fabian Tobal

Agradecimientos:

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional de Asunción Facultad de Ciencias Agrarias y al Departamento de Producción animal por brindar las instalaciones y el soporte técnico para el desarrollo de esta investigación. Finalmente, extendemos nuestro reconocimiento al Ing. Agr. *M.Sc.* Carlos Dario Ortiz Ramírez por su valiosa colaboración para la planificación y culminación de este trabajo.