

Asociación de factores nutricionales, raciales y estacionales en bovinos bajo condiciones tropicales

Association of nutritional, racial, and seasonal factors in cattle under tropical conditions

Jean Paúl Cedeño-Velásquez¹ , Eliany Nicolle Moreira-Mero¹ , Ernesto Hurtado^{1*} ,
Julio Rafael Gilces-Lectó² , Carlos Alberto Molina-Hidrovo² 

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Carrera de Medicina Veterinaria, Calceta, Ecuador.

² Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Pichilingue, Ecuador.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la asociación del nivel nutricional, la raza, la estacionalidad y el sexo con la ganancia diaria de peso en bovinos tropicales. Para ello, se analizaron 669 registros productivos correspondientes a bovinos Brahman, Brangus y mestizos. Se consideraron como variables de análisis el nivel nutricional (bajo, medio y alto), el grupo racial, el sexo, el mes de evaluación como indicador de la estacionalidad, el año de registro (2024 y 2025), la ganancia diaria de peso y el contenido de proteína bruta del forraje. La ganancia diaria de peso y la proteína bruta fueron categorizadas previamente para el análisis multivariante. Se empleó un Análisis de Correspondencia Múltiple para explorar asociaciones entre variables categóricas, complementado con el coeficiente V de Cramér y el procedimiento de Holm-Bonferroni para el ajuste por comparaciones múltiples ($\alpha = 0,05$). El Análisis de Correspondencia Múltiple explicó el 48.70 % de la varianza total. La Dimensión 1 (20,10 %) separó los niveles nutricionales, mientras que la Dimensión 2 (15,50 %) capturó el efecto estacional. El Análisis de Correspondencia Múltiple mostró una proximidad entre las categorías correspondientes al nivel nutricional alto, la proteína bruta alta y la mayor ganancia diaria de peso. La V de Cramér confirmó una fuerte asociación entre el nivel nutricional, la proteína bruta y la ganancia diaria de peso ($V > 0,50$). En contraste, no se encontró asociación entre el grupo racial y la ganancia diaria de peso ($V = 0,03$; $P > 0,05$), ni entre el grupo racial y el nivel nutricional ($V = 0,01$; $P > 0,05$). Noviembre presentó el mayor número de registros con pérdida de peso. Aunque el nivel nutricional y la estacionalidad se asociaron con la ganancia diaria de peso, el diseño del estudio no permitió diferenciar el efecto de cada uno de estos factores. Se recomienda que futuras investigaciones evalúen ambos factores de manera independiente e incorporen la estimación del consumo de forraje y mediciones de la composición corporal.

Palabras clave: análisis de correspondencia múltiple; ganancia diaria de peso; grupo racial; proteína bruta; sistemas de pastoreo tropical.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the associations of nutritional level, breed group, seasonality, and sex with Average daily gain in tropical cattle. A total of 669 production records from Brahman, Brangus, and crossbred cattle were analyzed. The variables included nutritional level (low, medium, and high), breed group, sex, month of evaluation as an indicator of seasonality, year of record (2024 and 2025), average daily gain, and forage crude protein content. average daily gain and crude protein were categorized before multivariate analysis. Multiple Correspondence Analysis was used to explore associations among categorical variables, and the results were complemented with Cramér's V and Holm-Bonferroni-adjusted significance tests ($\alpha = 0.05$). The Multiple Correspondence Analysis explained 48.70 % of the total variance. Dimension 1 (20.10 %) was primarily associated with nutritional level, whereas Dimension 2 (15.50 %) reflected the seasonal pattern. The Multiple Correspondence Analysis revealed a close spatial relationship among the categories corresponding to high nutritional level, high crude protein content, and high average daily gain. Cramér's V confirmed strong associations among nutritional level, crude protein content, and average daily gain ($V > 0.50$). In contrast, no significant association was found between breed group and average daily gain ($V = 0.03$; $P > 0.05$), or between breed group and nutritional level ($V = 0.01$; $P > 0.05$). November showed the highest number of records with weight loss. Although nutritional level and seasonality were both associated with average daily gain, the study design did not allow their individual effects to be disentangled. Future studies should evaluate these factors independently and incorporate estimates of forage intake together with body composition measurements.

Key words: Multiple Correspondence Analysis; average daily gain; breed group; crude protein; tropical grazing systems.

INTRODUCCIÓN

Bajo condiciones tropicales, las gramíneas tropicales constituyen la base fundamental para la alimentación de bovinos en sistemas de pastoreo destinados a la producción de carne y leche [1]. Pese a su amplia extensión, la eficiencia productiva en las regiones tropicales suele ser inferior a la registrada en zonas templadas [2]. Esta brecha productiva se vincula directamente con la limitada calidad nutricional de los forrajes [3], la baja fertilidad natural de los suelos, el escaso uso de fertilizantes nitrogenados y la constante presión de factores climáticos adversos [4].

Bajo estas condiciones, la ganancia diaria de peso (GDP) responde a una compleja interacción en la que intervienen el manejo nutricional y factores inherentes del animal, como la raza y el sexo [5]. Si bien está firmemente documentado el impacto individual de la nutrición [6, 7], la genética, los modelos de producción y las variables ambientales [8, 9, 10] sobre el crecimiento bovino, la mayor parte de la literatura científica ha abordado estos componentes de forma aislada, dejando de lado el estudio de sus posibles asociaciones estadísticas.

Frente a la necesidad de evaluar variables cualitativas y patrones de comportamiento simultáneos, el Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM) ha ganado terreno en la investigación zootécnica y veterinaria aplicada. Al tratarse de una técnica multivariante no paramétrica, esta herramienta permite identificar perfiles de rendimiento y clasificar poblaciones ganaderas sin la rigidez de los modelos lineales tradicionales. Un ejemplo de su efectividad es el uso exitoso de esta metodología para desglosar de forma integral las complejas relaciones existentes entre la precocidad sexual y los rasgos de crecimiento en rodeos desarrollados bajo condiciones tropicales [11, 12].

En el Ecuador, la heterogeneidad ambiental, la marcada estacionalidad climática y la disparidad en los criterios de manejo técnico generan una alta variabilidad en el rendimiento de los hatos locales [13, 14, 15]. Esta realidad resalta la urgencia de generar información integrada que determine si la respuesta biológica frente al plano nutricional es homogénea entre las distintas razas y sexos explotados en el trópico húmedo, un vacío de información que aún persiste en el ámbito de la producción ganadera regional [11].

En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue explorar las asociaciones entre el nivel nutricional, el grupo racial, el sexo, la proteína bruta, la estacionalidad y la ganancia diaria de peso en bovinos tropicales de la Estación Experimental Tropical Pichilingue, provincia de Los Ríos, Ecuador, durante los años 2024 y 2025. Comprender estas asociaciones permitirá aportar información útil para orientar el manejo nutricional y apoyar la toma de decisiones en sistemas de producción bovina bajo condiciones de pastoreo tropical.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se realizó en la estación experimental tropical Pichilingue, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), dentro del Programa de Ganadería

Bovina y Pastos. Se localiza en la provincia de Los Ríos, ubicada a 79° 21' W, 01° 06' S (FIG. 1), a una elevación de 120 metros sobre el nivel del mar. Presenta una temperatura promedio anual de 24 °C, registrando una heliofanía de 898,2 horas de luz al año y recibe una precipitación promedio anual de 2.000 mm; pertenece a la formación ecológica de Bosque Húmedo Tropical [13, 14, 15].

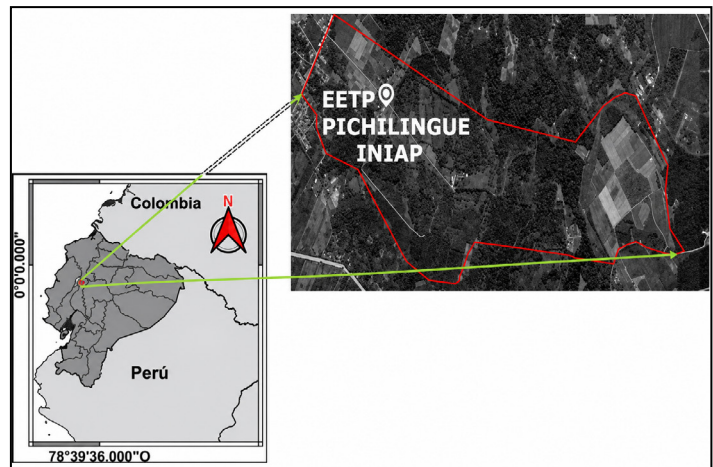


FIGURA 1. Mapa de ubicación de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP), INIAP, en la provincia de Los Ríos, Ecuador.

Generación de la base de datos

La base de datos se consolidó a partir de registros históricos de rendimiento productivo en bovinos tropicales, manejados bajo condiciones de pastoreo en la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Para el análisis multivariante, se estableció una matriz de datos integrada por un total de 669 registros. Las variables continuas contempladas fueron la GDP (kg/día) y el contenido de proteína bruta del forraje (PB, %). Por su parte, las variables cualitativas incluyeron el sexo del animal (hembras y machos), el grupo racial (Brahman, Brangus y mestizos), el nivel nutricional asignado (bajo, medio y alto), la estacionalidad (mes) y el año de muestreo (2024 y 2025).

Análisis estadístico

Para explorar la asociación entre las variables categóricas (mes, año, sexo, grupo racial, nivel nutricional, GDP y PB), se empleó un ACM. Este método estadístico no paramétrico se caracteriza por factorizar la matriz de Burt mediante descomposición en valores singulares, calculando para cada categoría: i) las masas (frecuencias relativas), ii) las coordenadas (posición en el espacio factorial), iii) las contribuciones (peso de cada categoría en la definición de los ejes) y iv) el coseno cuadrado (Cos^2), utilizado como indicador de la calidad de representación de cada categoría en las dimensiones factoriales del ACM, donde valores más altos reflejan una mejor representación de la categoría en el plano analizado [16]. El ACM se ejecutó utilizando la función *MCA* del paquete *FactoMineR* [17] en el software R [18]. Las variables GDP y PB fueron categorizadas previamente mediante la función *cut* de R, según los rangos establecidos en la TABLA I.

El ACM permitió obtener las coordenadas factoriales, las contribuciones de las categorías a cada dimensión y los valores

de Cos^2 como medida de la calidad de representación. Los resultados se visualizaron mediante un mapa factorial (biplot), gráficos de contribución y gráficos de calidad de representación (Cos^2), elaborados con los paquetes ggplot2 y reshape del software.

TABLA I
Criterios de categorización para variables cuantitativas en el análisis multivariante

Variable	Categoría	Estadístico		
		Rango	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
GDP	Pérdida	< 0,00	63	9,40
	Baja	0,00 - 0,30	138	20,60
	Media	0,30 - 0,50	185	27,70
	Alta	0,50 - 0,70	193	28,90
	Muy Alta	> 0,70	90	13,50
PB	Baja	< 7,00	177	26,50
	Media	7,00 - 8,50	100	14,90
	Alta	8,50 - 10,00	231	34,50
	Muy Alta	>10,00	161	24,10

GDP: ganancia diaria de peso expresada en kilogramos por día (kg/día); PB: contenido de proteína bruta en el forraje expresado en porcentaje (%). Matriz estructurada a partir de un tamaño muestral total de $n = 669$ registros históricos en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, Los Ríos, Ecuador (2024-2025). Nota: Los rangos de categorización se definieron con base en criterios técnicos de interpretación biológica y nutricional aplicables a bovinos en pastoreo tropical. La clasificación permitió transformar las variables continuas en categorías para su incorporación al Análisis de Correspondencia Múltiple.

Los resultados se visualizaron mediante: i) un mapa factorial (biplot) que proyecta las categorías en las Dimensiones 1 y 2, donde la proximidad entre puntos refleja el grado de asociación.

Evaluación de la asociación entre variables y significancia estadística

El ACM se empleó como una técnica exploratoria para identificar patrones globales de asociación entre las categorías de las variables estudiadas y visualizar su estructura en el espacio factorial. A partir de dichos patrones, se seleccionaron para su verificación únicamente las asociaciones directamente relacionadas con el objetivo de la investigación (nivel nutricional, raza, estacionalidad, proteína bruta y ganancia diaria de peso). Estas asociaciones fueron contrastadas mediante el coeficiente V de Cramér, derivado de pruebas de Chi-cuadrado, con el propósito de cuantificar su intensidad y complementar la interpretación exploratoria proporcionada por el ACM.

La fuerza de asociación entre pares de variables categóricas se cuantificó mediante la V de Cramér, calculada a partir de la prueba de Chi-cuadrado [19]. Para controlar la tasa de error tipo I en las comparaciones múltiples, se aplicó el procedimiento secuencial de Holm-Bonferroni para controlar la tasa de error familiar (Family-wise Error Rate) derivada de las comparaciones múltiples, estableciendo un nivel de significancia ajustado de $\alpha = 0,05$.

No se evaluaron todas las combinaciones posibles entre variables, sino únicamente aquellas directamente relacionadas con el objetivo del estudio, evitando incrementar

innecesariamente el número de comparaciones múltiples y facilitando una interpretación biológicamente pertinente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ACM explicó el 48,70 % de la variabilidad total en las tres primeras dimensiones. La Dimensión 1 explicó el 20,10 %, la Dimensión 2 el 15,50 % y la Dimensión 3 el 13,10 % (FIG. 2).

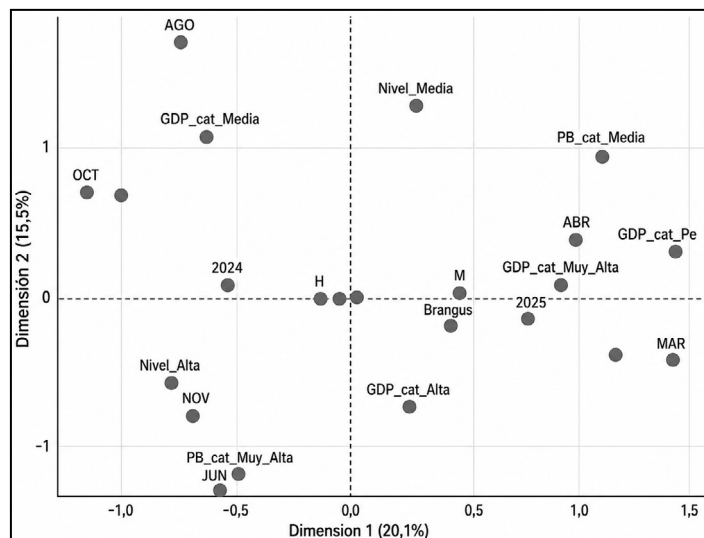


FIGURA 2. Biplot del Análisis de Correspondencia Múltiple de las variables categóricas. La proximidad entre puntos indica asociación positiva. Pichilingue (EETP), INIAP, en la provincia de Los Ríos, Ecuador.

El mapa factorial del ACM mostró una proximidad espacial entre las categorías correspondientes al nivel nutricional alto, proteína bruta alta y ganancia diaria de peso alta, lo que sugiere un patrón de asociación entre estas variables. Dado el carácter exploratorio del ACM, estas relaciones fueron posteriormente verificadas mediante el coeficiente V de Cramér, cuyos resultados se presentan en la TABLA II.

El mapa factorial evidenció diferencias en la distribución espacial de las categorías correspondientes a los meses de evaluación, lo que refleja variabilidad estacional en la estructura de los datos. No obstante, la interpretación de estas relaciones se sustentó principalmente en las asociaciones cuantificadas mediante la V de Cramér, evitando inferencias basadas exclusivamente en la proximidad de las categorías en el plano factorial.

En el mapa factorial, las categorías correspondientes al grupo racial no mostraron un patrón de agrupamiento consistente con las categorías del nivel nutricional ni con las de la ganancia diaria de peso. No obstante, debido al carácter exploratorio del ACM y a que las dos primeras dimensiones explicaron solo una parte de la variabilidad total, la interpretación del biplot se complementó con los resultados de la V de Cramér (TABLA II), los cuales no evidenciaron asociación entre el grupo racial y el nivel nutricional ($V = 0,01$; $P > 0,05$), ni entre el grupo racial y la GDP ($V = 0,03$; $P > 0,05$).

Las categorías con mayor masa poblacional fueron Hembras (11,40 %), Brahman (8,40 %), año 2024 (8,20 %), Nivel Alta (6,70 %) y año 2025 (6,10 %). Esto indica que la muestra estuvo conformada mayoritariamente por hembras de la raza Brahman registradas durante el año 2024, con predominio del nivel nutricional alto.

Verificación de asociaciones mediante V de Cramér

Con base en los patrones exploratorios identificados mediante el ACM y en el objetivo del estudio, se seleccionaron para la verificación estadística únicamente las asociaciones con pertinencia biológica directa: i) asociaciones entre nivel nutricional, proteína bruta y ganancia diaria de peso; ii) asociaciones entre estacionalidad, nivel nutricional, proteína bruta y ganancia diaria de peso; y iii) asociaciones del grupo racial con el nivel nutricional, la proteína bruta, la estacionalidad y la ganancia diaria de peso. Estas relaciones fueron evaluadas mediante el coeficiente V de Cramér, calculado a partir de pruebas de Chi-cuadrado, con ajuste de significancia mediante el procedimiento de Holm-Bonferroni. Los resultados se presentan en la TABLA II.

TABLA II

Asociación entre el nivel nutricional, la raza, la estacionalidad y la ganancia diaria de peso (V de Cramér), en Pichilingue, Ecuador

Par de Variables	V de Cramér	p (Holm-Bonferroni)	Asociación
Nivel x PB	0,87	< 0,001	Fuerte
Mes x Nivel	0,86	< 0,001	Fuerte
Mes x PB	0,79	< 0,001	Fuerte
Mes x GDP	0,65	< 0,001	Fuerte
GDP x PB	0,53	< 0,001	Fuerte
Nivel x Grupo racial	0,01	> 0,05	Nula
Grupo racial x GDP	0,03	> 0,05	Nula
Grupo racial x PB	0,08	> 0,05	Nula
Grupo racial x Mes	0,03	> 0,05	Nula

Las asociaciones más fuertes (V de Cramér > 0,50) se observaron entre el nivel nutricional y la PB (V = 0,87; P < 0,001), el mes y el nivel nutricional (V = 0,86; P < 0,001), el mes y la PB (V = 0,79; P < 0,001), el mes y la GDP (V = 0,65; P < 0,001) y la GDP y la PB (V = 0,53; P < 0,001). Estos resultados evidencian una fuerte asociación entre la estacionalidad, el nivel nutricional, la proteína bruta y la ganancia diaria de peso.

En cuanto a las hipótesis nulas planteadas, no se encontró una asociación significativa entre el nivel nutricional y el grupo racial (V = 0,01; P > 0,05), lo que indica que la distribución de los grupos raciales fue similar entre los diferentes niveles nutricionales. Asimismo, no se detectó una asociación significativa entre el grupo racial y la GDP (V = 0,03; P > 0,05), por lo que no se rechazó la hipótesis nula de independencia entre ambas variables bajo las condiciones evaluadas. Adicionalmente, no se encontraron asociaciones significativas entre el grupo racial y las demás variables analizadas, con valores de V de Cramér inferiores a 0,10 y P > 0,05 en todos los casos.

Varianza explicada y estructura del ACM

El ACM explicó el 48,70 % de la varianza total, siendo este un valor plenamente comparable con otros estudios en producción animal que reportan rangos de entre el 40 y 60 % [11, 12], cuyos autores utilizaron técnicas multivariantes con el propósito de caracterizar y explorar relaciones complejas en poblaciones bovinas tropicales. Asimismo, la Dimensión 1 explicó el 20,10 % de la variabilidad total y estuvo definida principalmente por

TABLA III

Contribución y calidad de representación (Cos²) de las categorías en las dimensiones del Análisis de Correspondencia Múltiple

Variables	Categoría	Dimensión 1: contribución (%)	Dimensión 1: Cos ²	Dimensión 2: contribución (%)	Dimensión 2: Cos ²	Interpretación
Nivel nutricional	Bajo	9,91	0,489	1,24	0,047	Asociado al extremo de menor disponibilidad nutricional.
Nivel nutricional	Medio	0,55	0,027	16,84	0,637	Categoría mejor representada en la Dimensión 2.
Nivel nutricional	Alto	8,51	0,583	5,03	0,264	Categoría bien representada, asociada al perfil nutricional alto.
Proteína bruta	Baja	9,91	0,489	1,24	0,047	Relacionada con menor calidad nutricional del forraje.
Proteína bruta	Alta	6,24	0,523	3,69	0,253	Relacionada con mejor calidad nutricional del forraje.
GDP	Pérdida	5,30	0,212	0,39	0,012	Categoría de respuesta productiva desfavorable.
GDP	Baja	3,32	0,152	3,71	0,130	Baja respuesta productiva con representación moderada.
GDP	Media	3,50	0,175	11,92	0,458	Categoría productiva intermedia, con fuerte representación en la Dimensión 2.
GDP	Alta	0,71	0,036	5,22	0,204	Mayor respuesta productiva, con mayor aporte en la Dimensión 2.
Mes	Abril	6,80	0,335	1,53	0,058	Mes asociado al patrón estacional inicial.
Mes	Marzo	8,38	0,357	0,75	0,025	Mes con aporte importante a la Dimensión 1.
Mes	Noviembre	3,56	0,170	5,24	0,192	Categoría vinculada al componente estacional.
Raza	Brahman	0,01	0,001	0,00	0,000	Baja contribución al eje nutricional-productivo.
Raza	Mestiza	0,03	0,002	0,00	0,000	Baja contribución al eje nutricional-productivo.
Raza	Brangus	0,10	0,004	0,01	0,000	Baja contribución al eje nutricional-productivo.

categorías relacionadas con el nivel nutricional y la proteína bruta, de acuerdo con sus contribuciones relativas y valores de Cos^2 . Esta interpretación debe considerarse conjuntamente con la fuerte asociación observada entre el mes y el nivel nutricional.

Para sustentar la interpretación de las dimensiones del ACM, se analizaron las contribuciones relativas y los valores de Cos^2 de las categorías con mayor importancia biológica. Estos indicadores permitieron identificar qué categorías definieron principalmente cada eje factorial y evitar interpretaciones basadas únicamente en la inspección visual del biplot (TABLA III).

La interpretación de la Dimensión 1 se fundamentó en que las categorías correspondientes al nivel nutricional presentaron las mayores contribuciones y los valores más elevados de Cos^2 , indicando que fueron las principales responsables de la variabilidad explicada por este eje factorial. De manera similar, la Dimensión 2 estuvo determinada principalmente por las categorías relacionadas con la estacionalidad, de acuerdo con sus contribuciones relativas y calidad de representación (TABLA III).

Esta interpretación se refuerza de manera directa con hallazgos previos, tales como los de Souza y col. [20] quienes mediante un metaanálisis determinaron que la nutrición se asocia con diferencias significativas en el rendimiento bovino tropical, consolidando al factor nutricional como un diferenciador clave. Igualmente, Valente y col. [21] establecieron bajo condiciones tropicales cómo los diferentes niveles nutricionales se asocian con los cambios en los requisitos de energía y proteína para la ganancia de peso en pastoreo, lo cual robustece la postura de que la variación en el plan nutricional determina las diferencias de rendimiento animal, especialmente en sistemas tropicales [22].

En concordancia con estos antecedentes, los presentes resultados son consistentes con la hipótesis de que el nivel nutricional es un eje determinante en la diferenciación del rendimiento productivo, aun cuando su asociación se encuentre confundida con la estacionalidad, tal como se discute a continuación.

Asociación entre nivel nutricional, proteína bruta y ganancia diaria de peso

El ACM mostró una proximidad espacial entre las categorías correspondientes al nivel nutricional alto, PB alta y mayor GDP. Esta interpretación fue consistente con las medidas de asociación obtenidas mediante la V de Cramér, que evidenciaron una fuerte relación entre estas variables ($V > 0,50$). Desde el punto de vista biológico, este comportamiento es coherente con el efecto esperado de una mayor disponibilidad de proteína sobre el desempeño productivo de los bovinos en pastoreo; lo cual concuerda con los principios básicos de la nutrición animal [23]. Asimismo, este tipo de respuestas productivas coincide con lo reportado previamente por Kang y col. [6], Souza y col. [20] y Barbero y col. [24].

No obstante, la fuerte asociación observada entre el mes de evaluación y el nivel nutricional ($V = 0,86$) indica que ambas variables estuvieron estrechamente relacionadas dentro del diseño del estudio. En consecuencia, no fue posible separar completamente el efecto de la estacionalidad del efecto del

nivel nutricional sobre la GDP, ya que ambos factores variaron de manera simultánea durante el periodo de evaluación; esta particularidad impide separar analíticamente el efecto de la suplementación nutricional del impacto estacional, constituyendo una limitación metodológica frecuentemente reportada en investigaciones bajo condiciones tropicales [25].

Esta confusión entre el plano nutricional y la estacionalidad resulta crítica, pues se ha documentado ampliamente que fracciones como la proteína cruda y el fósforo disminuyen significativamente durante la transición de la época lluviosa a la seca [26], afectando de forma directa la ganancia de peso de los bovinos independientemente de la suplementación recibida. Al respecto, Cooke y col. [27] denominan a este fenómeno como “brecha nutricional estacional”, la cual se encuentra caracterizada por la variación estacional en la calidad y disponibilidad del forraje que impacta de manera directa sobre la producción animal y la seguridad alimentaria. De este modo, debido a la mayor suplementación concentrada en ciertos meses (Nivel Alto en Jun/Oct/Nov), no es posible determinar con exactitud si la mayor GDP observada se debe al programa de suplementación o a una mejor calidad basal del forraje en esa época del año, reflejando una brecha de conocimiento más amplia identificada por Cooke y col. [27], Fushai y col. [28], quienes exhortaron sobre la falta de estudios que evalúen simultáneamente la calidad y cantidad de forraje junto con las estrategias de suplementación.

Por lo tanto, resulta inviable atribuir las diferencias de GDP exclusivamente al nivel nutricional, ya que la estrategia de suplementación se encuentra estadísticamente confundida con la estacionalidad a través de factores como la disponibilidad y calidad del forraje, la temperatura y la precipitación. Ante esto, los futuros estudios en la región deberán implementar diseños experimentales que crucen los niveles nutricionales con las diferentes épocas del año, midiendo simultáneamente la calidad del forraje para desglosar de manera matemática y biológica ambos efectos [29, 30].

Ausencia de asociación entre raza y nivel nutricional

El presente estudio no detectó una asociación significativa entre el grupo racial y el nivel nutricional ($V = 0,01$; $P > 0,05$), ni entre el grupo racial y la GDP ($V = 0,03$; $P > 0,05$). Estos resultados indican que, bajo las condiciones y en la población evaluadas, no se encontró evidencia estadística de asociación entre el grupo racial y estas variables.

En relación con la falta de asociación entre la raza y el plano nutricional, este comportamiento resulta consistente con lo descrito por Agus y col. [29], quienes al evaluar el efecto de la suplementación en novillos producto de cruces de Brahman demostraron que la adición de un 20,00 % de proteína bruta incrementó significativamente la GDP de 0,57 a 1,01 kg/día ($P < 0,05$).

En el estudio de referencia no se detectaron interacciones significativas entre el tratamiento dietético y las características individuales de los animales para ninguna de las variables de rendimiento productivo evaluadas. Estos resultados sugieren que la respuesta al tratamiento nutricional fue similar entre los

diferentes subgrupos analizados, lo que respalda la importancia del nivel de suplementación como principal factor asociado al desempeño productivo.

En contraste, el presente estudio tuvo un enfoque metodológico diferente. No se diseñó para evaluar interacciones experimentales entre factores, sino para analizar asociaciones entre variables categóricas mediante el ACM y la V de Cramér. Por ello, los resultados obtenidos no permiten establecer la existencia o ausencia de interacciones entre los factores estudiados.

Sin embargo, investigaciones previas han reportado interacciones genotipo-ambiente significativas bajo esquemas de manejo diferenciados; al respecto, Beck *et al.* [30] encontraron que, a bajas cargas animales, donde existe una mejor oferta nutricional, la raza Limousin superó a la Angus, mientras que bajo altas cargas y nutrición limitante la situación se invirtió por completo.

De manera similar, McGregor y col. [31] reportaron que un régimen de alimentación restringida afectó de forma más severa ($P < 0,001$) a los novillos de origen británico (Angus) en comparación con los de tipo continental (Charolais), demostrando con ello que la respuesta a la restricción nutricional sí depende del grupo racial. Estos antecedentes sugieren de forma conjunta que la interacción entre nutrición y raza se manifiesta principalmente bajo condiciones de estrés nutricional extremo, mientras que, en escenarios de suplementación adecuada o rangos intermedios como los del presente ensayo, las diferencias raciales tienden a homogeneizarse.

La ausencia de asociación en este estudio podría explicarse por tres razones fundamentales: en primer lugar, la variación fenotípica interna de la raza Brahman (diferencias individuales) podría llegar a ser mayor que la variabilidad existente entre los grupos raciales evaluados (Brahman frente a Mestiza y Brangus), enmascarando de este modo posibles diferencias interraciales [12]; en segundo lugar, la brecha nutricional estacional [28] podría ser tan amplia que la respuesta a la suplementación termina por homogeneizar el rendimiento general entre las razas, haciendo que el factor limitante primario sea la nutrición y no la base genética.

Finalmente, como tercera razón, la ausencia de mediciones detalladas de la composición corporal (más allá del registro exclusivo del peso vivo) podría estar ocultando variaciones raciales finas en la eficiencia de conversión alimenticia, tal como se señala en una investigación previa [24], donde se indica que los cambios en el peso corporal pueden deberse a fluctuaciones en el contenido gastrointestinal, la hidratación de los tejidos o el estado de preñez, más que a alteraciones significativas en el depósito real de proteína o grasa corporal.

La ausencia de relación entre la raza y la GDP observada en este estudio contrasta con lo citado por Mendonça y col. [32], quienes reportaron que las vacas Angus puras fueron biológicamente más eficientes que los cruces taurino-índicus dentro de los sistemas de cría evaluados; por el contrario, los presentes hallazgos son plenamente consistentes con lo encontrado por Holroyd y col. [33], los cuales observaron que la suplementación en cruces de Brahman generó efectos similares sobre el crecimiento de la descendencia independientemente

de su grupo racial, asimismo, coinciden con lo descrito por Silva y col. [34], quienes no reportaron diferencias significativas en la respuesta a la suplementación post-destete al evaluar vaquillas mestizas de origen Brahman con diferente peso inicial.

En conjunto, los presentes hallazgos sugieren que, bajo las condiciones de pastoreo tropical evaluadas (caracterizadas por una alta variabilidad estacional en la calidad del forraje), el manejo nutricional ejerce una influencia predominante sobre la GDP, mientras que el factor racial juega un papel secundario; lo anterior conlleva implicaciones prácticas de gran relevancia para el sector, por consiguiente, las estrategias de suplementación pueden ser diseñadas de forma generalizada sin necesidad de establecer diferenciaciones estrictas por grupos raciales, al menos dentro de los límites y poblaciones evaluadas en este estudio. No obstante, se requiere el desarrollo de futuras investigaciones que incorporen la medición simultánea de la composición corporal y que crucen metodológicamente los niveles nutricionales con las diferentes épocas del año, permitiendo así desglosar con exactitud el efecto de la estacionalidad.

Pérdida de peso en noviembre

El biplot del ACM (FIG. 2) mostró una distribución diferenciada de las categorías correspondientes a los meses de evaluación dentro del espacio factorial. En particular, la categoría noviembre presentó una ubicación distinta con respecto a otros meses, lo que sugiere un comportamiento diferencial que fue interpretado juntamente con los resultados descriptivos y el análisis de asociación mediante la V de Cramér.

Los estadísticos descriptivos mostraron que, durante noviembre, los animales recibieron el nivel nutricional alto, con un contenido medio de proteína bruta de 10,26 %. Sin embargo, la ganancia diaria de peso presentó una media de 0,23 kg/día y registros mínimos de -0,18 kg/día. Este comportamiento sugiere que otros factores, además del nivel nutricional, pudieron influir sobre la respuesta productiva durante ese periodo.

Tal escenario sugiere que diversos factores estacionales ejercen una influencia sobre la GDP de forma independiente al programa de suplementación; al respecto, en la zona de Pichilingue se han documentado modificaciones críticas en la disponibilidad y calidad del forraje asociadas a la transición entre épocas climáticas [35], puesto que la disminución de la proteína cruda y el fósforo en las pasturas durante ciertas épocas del año afecta la ganancia de peso, incluso bajo esquemas de suplementación activa [16, 36].

Adicionalmente, factores concurrentes como el estrés calórico, el incremento de la carga parasitaria o enfermedades estacionales podrían estar contribuyendo a esta pérdida de peso observada en noviembre; no obstante, la base de datos generada por el INIAP no incluyó estas variables operativas, lo cual constituye una limitación admitida en este estudio.

Limitaciones del estudio

El presente estudio exhibe cinco limitaciones principales que deben ser tomadas en cuenta para la interpretación de los alcances logrados: en primer lugar, se identifica la existencia de pseudo-réplicas en los datos correspondientes al año 2024, donde múltiples animales compartieron el mismo valor de GDP por grupo experimental, situación que impide realizar análisis robustos a nivel individual; en segundo lugar, se manifiesta la confusión estadística entre el nivel nutricional y el factor estacional ($V = 0,86$), debido a que cada nivel fue aplicado en meses específicos, imposibilitando la separación analítica de ambos efectos. Como tercer punto, destaca la ausencia de variables críticas de control tales como el peso inicial, la edad, el consumo individual de forrajes, los registros climáticos microambientales y la carga parasitaria, elementos que potencialmente explicarían la pérdida de peso registrada en noviembre.

En cuarto lugar, la distribución de la muestra estuvo dominada por hembras (79,80 %) y animales del grupo racial Brahman (59,00 %), lo que limita la extrapolación de los resultados a otras poblaciones con características diferentes. Finalmente, no se realizaron mediciones directas de la composición corporal, por lo que la variación de la ganancia diaria de peso no necesariamente refleja el estado nutricional o metabólico de los animales.

Futuros estudios podrían explorar perfiles de respuesta mediante variables compuestas que integren simultáneamente el nivel nutricional y la respuesta productiva.

CONCLUSIONES

En las condiciones evaluadas, el nivel nutricional mostró una asociación consistente con la ganancia diaria de peso, mientras que el grupo racial no presentó asociación con esta variable ni con el nivel nutricional. Estos resultados indican que, en la población estudiada, las diferencias en el desempeño productivo estuvieron más estrechamente relacionadas con el manejo nutricional que con el grupo racial de los animales.

Asimismo, la estrecha asociación observada entre el nivel nutricional y el periodo de evaluación evidenció que ambos factores actuaron de manera simultánea durante el estudio, lo que impidió diferenciar con claridad el efecto de la suplementación del efecto de la estacionalidad sobre la GDP.

Los resultados obtenidos aportan evidencia sobre el comportamiento de bovinos en sistemas de pastoreo tropical y destacan la importancia de considerar el diseño experimental en estudios donde coinciden cambios nutricionales y estacionales. En futuras investigaciones será conveniente evaluar ambos factores de forma independiente e incorporar estimaciones del consumo de forraje y mediciones de la composición corporal para comprender con mayor precisión su contribución al desempeño productivo.

Conflicts of interest

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores

Conceptualización (CM-H, JRGL). Investigación (CM-H, JRGL). Metodología (CM-H, JRGL). Análisis de datos (JPCV, ENMC, JRGL, CM-H). Borrador del manuscrito (JPCV, ENMC, JRGL, CM-H). Edición del manuscrito final (JPCV, ENMC, JRGL, EH, CM-H).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Jayasinghe P, Ramilan T, Donaghy DJ, Pembleton KG, Barber DG. Comparison of nutritive values of tropical pasture species grown in different environments, and implications for livestock methane production: a meta-analysis. *Animals*. [Internet]. 2022; 12(14):1806. doi: <https://doi.org/pjtt>
- [2] Thornton PK, Jones PG, Ericksen PJ, Challinor AJ. Agriculture and food systems in sub-Saharan Africa in a +4 °C world. *Philos. Trans. R. Soc. A*. [Internet]. 2011; 369(1934):117–136. doi: <https://doi.org/b8r9zw>
- [3] Cañadas-López Á, Rade-Loor D, Zambrano C, Molina-Hidrovo C, Arce L. Evaluación y manejo de fuentes semilleras de Teca (*Tectona grandis* Linn. f.) en la Estación Experimental Tropical Pichilingue, Ecuador. *ACI Av. Cienc. Ing.* [Internet]. 2013; 5(1):64–75. doi: <https://doi.org/rg7x>
- [4] Vendramini JMB, Dubeux JCB Jr, Silveira ML. Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. *Rev. Bras. Cienc. Agrar.* [Internet]. 2014; 9(2):308–315. doi: <https://doi.org/gpp8f7>
- [5] Martínez-Torres VA, Maza-Angulo LA, Garces-Cardenas JE. Supplementation of dual-purpose grazing cows using different levels of essential oil inclusion. *Rev. MVZ Córdoba*. [Internet]. 2025; 30(1):e3578. doi: <https://doi.org/rg7z>
- [6] Kang D, Lungu SE, Danso F, Dzou CF, Chen Y, Zheng X, Nie F, Lin H, Chen J, Zhou G. Animal health and nutrition: Metabolic disorders in cattle and improvement strategies. *Front. Vet. Sci.* [Internet]. 2025; 12:1470391. doi: <https://doi.org/rg72>
- [7] Vithalrao US, Chandrakar P, Mahanthesh MT, Singh G, Sudhakar S, Tanpure MU, Kumar A, Singh AK. Advances in Nutritional Strategies for Enhancing Livestock Productivity: A Review. *Arch. Curr. Res. Int.* [Internet]. 2025; 25(12):138–156. doi: <https://doi.org/rg73>
- [8] Herrera-Ojeda J, Parra-Bracamonte GM, López-Villalobos N, Herrera-Camacho J, Orozco-Duran KE. Bivariate analysis for the improvement of genetic evaluations with incomplete records in Charolais cattle. *Rev. MVZ Córdoba*. [Internet]. 2021; 26(2):e2128. doi: <https://doi.org/rg74>
- [9] Mertens A, Kokemohr L, Braun E, Legein L, Mosnier C, Pirlo G, Veysset P, Hennart S, Mathot M, Stilmant D. Exploring rotational grazing and crossbreeding as options for beef production to reduce GHG emissions and feed-food competition through farm-level bio-economic modeling. *Animals*. [Internet]. 2023; 13(6):1020. doi: <https://doi.org/rg75>

- [10] Hossain MR, Islam R, McGrath SR, Islam MZ, Lamb D. Mob-based cattle weight gain forecasting using ML models. *Smart Agric. Technol.* [Internet]. 2025; 12:101428. doi: <https://doi.org/rg78>
- [11] Fernandes Junior GA, Garcia DA, Hortolani B, de Albuquerque LG. Phenotypic relationship of female sexual precocity with production and reproduction traits in beef cattle using multivariate statistical techniques. *Ital. J. Anim. Sci.* [Internet]. 2019; 18(1):182-188. doi: <https://doi.org/rg79>
- [12] Costa-Melo RR, Sinedino LDP, Ferreira JE, de Sousa SLG, de Mello MRB. Principal component and cluster analyses of production and fertility traits in Red Sindhi dairy cattle breed in Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.* [Internet]. 2020; 52(1):273-281. doi: <https://doi.org/rg8b>
- [13] Cañadas-López Á, Rade-Loor D, Molina-Hidrovo C. *In situ* assessment of *Jatropha curcas* germplasm under tropical dry forest conditions in Manabí-Ecuador. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín.* [Internet]. 2020; 73(3):9273-9281. doi: <https://doi.org/rg8c>
- [14] Cañadas-López Á, Andrade-Candell J, Domínguez JM, Molina-Hidrovo C, Schnabel O, Vargas-Hernández JJ, Wehenkel C. Growth and Yield Models for Teak Planted as Living Fences in Coastal Ecuador. *Forests.* [Internet]. 2018; 9(2):55. doi: <https://doi.org/ggx52f>
- [15]] Cañadas-López Á, Gamboa-Trujillo P, Wehenkel C. Growth and yield models for *Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd in silvopastoral systems of Ecuadorian western lowlands. *Front. For. Glob. Change.* [Internet]. 2025; 8:1577103. doi: <https://doi.org/rg8h>
- [16] Vilaboa-Arroniz J, Díaz-Rivera P, Ruiz-Rosado O, Platas-Rosado DE, González-Muñoz S, Juárez-Lagunes F. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Trop Subtrop. Agroecosystems.* [Internet]. 2009 [cited 20 Feb 2026]; 10:53-62. Disponible en: <https://goo.su/vaBvQV9>
- [17] Josse J, Husson F. missMDA: a package for handling missing values in multivariate data analysis. *J. Stat. Softw.* [Internet]. 2016; 70(1):1-31. doi: <https://doi.org/gfrbkm>
- [18] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2024 [cited 20 Feb 2026]. Disponible en: <https://goo.su/RsBdU>
- [19] Cramér, H. Mathematical methods of statistics. Vol. 9. Princeton, Nueva Jersey, USA: Princeton University Press. 1946 [cited 20 Feb 2026]. Available in: <https://goo.su/QohNW2>
- [20] Souza VL, Drackley JK, Almeida R, Bittar CM, Albertini TZ, Morrison SY, Lanna DP. Evaluation of nutrition models to estimate performance of young dairy calves: a meta-analytical study under tropical conditions. *Animal.* [Internet]. 2016; 10(12):1965-1974. doi: <https://doi.org/rg8q>
- [21] Valente EL, Paulino MF, Detmann E, Valadares Filho SDC, Cardenas JEG, Dias IFT. Requirement of energy and protein of beef cattle on tropical pasture. *Acta Sci. Anim. Sci.* [Internet]. 2013; 35(4):417-424. doi: <https://doi.org/rg8r>
- [22] Hernández-Castellano LE, Nally JE, Lindahl J, Wanapat M, Alhidary IA, Fanguero D, Grace D, Ratto M, Bambou JC, de Almeida AM. Dairy science and health in the tropics: challenges and opportunities for the next decades. *Trop. Anim. Health Prod.* [Internet]. 2019; 51(5):1009-1017. doi: <https://doi.org/gifgcm>
- [23] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 8th rev. ed. [Internet]. Washington, DC, USA: The National Academies Press; 2016 [cited 20 Feb 2026]. Disponible en: <https://goo.su/azBi37>
- [24] Barbero RP, Ribeiro AC, Moura AM, Longhini VZ, Mattos TF, Barbero MD. Production potential of beef cattle in tropical pastures: a review. *Ciênc. Anim. Bras.* [Internet]. 2021; 22:e69609. doi: <https://doi.org/rg8s>
- [25] Thornton PK, Rosenstock T, Förch W, Lamanna C, Bell P, Henderson B, Herrero M. A qualitative evaluation of CSA options in mixed crop-livestock systems in developing countries. En: Lipper L, McCarthy N, Zilberman D, Asfaw S, Branca G, eds. *Climate smart agriculture: building resilience to climate change.* [Internet]. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2017. p. 385-423. doi: <https://doi.org/gnhqfw>
- [26] Ayantunde AA, Amole T, Duncan AJ. Livestock feed markets across agro-ecological zones of Burkina Faso: feed provenance, price and quality. *Front. Anim. Sci.* [Internet]. 2023; 4:1122416. doi: <https://doi.org/rg8>
- [27] Cooke AS, Machezano H, Gwiriri LC, Tinsley JH, Silva GM, Nyamukondiwa C, Safalaoh A, Morgan ER, Lee MRF. The nutritional feed gap: Seasonal variations in ruminant nutrition and knowledge gaps in relation to food security in Southern Africa. *Food Sec.* [Internet]. 2025; 17(1):73-100. doi: <https://doi.org/rg8v>
- [28] Fushai F, Chitura T, Oke OE. Climate-smart livestock nutrition in semi-arid Southern African agricultural systems. *Front. Vet. Sci.* [Internet]. 2025; 12:1507152. doi: <https://doi.org/rg8w>

- [29] Agus A, Anam MS, Noviandi CT, Astuti A, Paradhita DHV. Effect of high-quality feed supplement and sex on the growth performance of Brahman crossbred cattle. *Anim. Sci. Proc.* [Internet]. 2023; 14(4):618. doi: <https://doi.org/rg8x>
- [30] Beck PA, Stewart CB, Gadberry MS, Haque M, Biermacher J. Effect of mature body weight and stocking rate on cow and calf performance, cow herd efficiency, and economics in the southeastern United States. *J. Anim. Sci.* [Internet]. 2016; 94(4):1689–1702. doi: <https://doi.org/f8ngkq>
- [31] McGregor EM, Campbell CP, Miller SP, Purslow PP, Mandell IB. Effect of nutritional regimen including limit feeding and breed on growth performance, carcass characteristics and meat quality in beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* [Internet]. 2012; 92(3):327-341. doi: <https://doi.org/rg8z>
- [32] Mendonça FS, MacNeil MD, Leal WS, Azambuja RC, Rodrigues PF, Cardoso FF. Crossbreeding effects on growth and efficiency in beef cow–calf systems: evaluation of Angus, Caracu, Hereford and Nelore breed direct, maternal and heterosis effects. *Transl. Anim. Sci.* [Internet]. 2019; 3(4):1286-1295. doi: <https://doi.org/rg82>
- [33] Holroyd RG, Mason GWJ, Loxton ID, Knights PT, O'Rourke PK. Effects of weaning and supplementation on performance of Brahman cross cows and their progeny. *Aust. J. Exp. Agric.* [Internet]. 1988; 28(1):11-20. doi: <https://doi.org/cz8nrs>
- [34] Silva TA, Quigley SP, Kidd LJ, Anderson ST, McLennan SR, Schatz TJ, McCosker KD, Poppi DP. Growth and reproductive performance responses to post-weaning supplementation of early and normally-weaned Brahman crossbred heifers raised in tropical rangelands. *PLoS One.* [Internet]. 2022; 17(2):e0263786. doi: <https://doi.org/rg83>
- [35] Cañadas-López Á, Molina-Hidrovo C, Rade-Loor D, Fernández MF. Seasons and planting densities interaction on forage production of eight hybrids maize, Ecuador. *Rev. MVZ Córdoba.* [Internet]. 2016 [cited 20 Feb 2026]; 21(1):5112-5123. Disponible en: <https://goo.su/GllXE7>
- [36] Pulido RG, Escobar A, Follert S, Leiva M, Orellana P, Wittwer F, Balocchi O. Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre la respuesta productiva en vacas lecheras a pastoreo primaveral con alta disponibilidad de pradera. *Arch. Med. Vet.* [Internet]. 2009; 41(3):197-204. doi: <https://doi.org/d6wstk>