ORINOQUIA REVISTA
PUBLICACIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIONES • ISSN: 0121-3709 (IMPRESA) • ISSN(E): 2011-2629 • VOL. 30 NÚMERO 2 • AÑO 2026

Efectos del pastoreo racional Voisin en el comportamiento y bienestar animal del ganado bovino en el Centro Agroindustrial del Meta

Effects of Voisin Rational Grazing on the Behavior and Animal Welfare of Cattle at the Meta Agroindustrial Center

Efeitos do Pastoreio Racional Voisin no comportamento e no bem-estar animal de bovinos no Centro Agroindustrial do Meta

Ivan Dario Martinez-Pineda[1]

Artículo de investigación
Recibido: 21 de julio de 2026
Aceptado: 03 de septiembre de 2026
Publicado: 24 de septiembre de 2026

1 MVZ, MSc (e),Médico Veterinario y Zootecnia, Magister en Sistemas Sostenibles de Salud y Producción Animal Tropical, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Email:aivanmvz@gmail.com, https://orcid.org/0009-0007-1303-7987

RESUMEN

El pastoreo racional Voisin (PRV) es una alternativa de manejo regenerativo cuya evidencia empírica en condiciones del piedemonte llanero colombiano es limitada. El objetivo del presente estudio fue evaluar comparativamente el efecto del PRV frente a un sistema convencional rotacional sobre la ganancia diaria de peso (GDP), la condición corporal (CC) y el comportamiento al pastoreo de bovinos machos de levante, en el Centro Agroindustrial del Meta del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). El experimento se desarrolló durante 151 días (junio–noviembre de 2025) en la finca El Hachón, sobre praderas establecidas de *Urochloa humidicola subsp. dictyoneura* en suelos oxisoles. Se trabajó con 20 bovinos cruzados BON × Gyr × Holstein (peso inicial 235,9 ± 32,2 kg), distribuidos en cuatro lotes de cinco animales (n= 2 lotes por tratamiento). El tratamiento T1-PRV operó con 40 parcelas de 0,133 hectáreas (ha), periodo de ocupación (PO) de 1 día y periodo de descanso (PD) de 39 días; el T2-pastoreo convencional, operó con cuatro subpotreros de 1,33 ha, PO de 7 días y PD de 21 días, con carga animal equivalente entre sistemas. La GDP se determinó por pesaje individual seriado con báscula Tru-Test®; la CC se evaluó en escala 1–5 (protocolo Edmonson et al., 1989) y el comportamiento se registró mediante

Como Citar (Norma Vancouver): Martinez-Pineda, I.D. Efectos del pastoreo racional Voisin en el comportamiento y bienestar animal del ganado bovino en el Centro Agroindustrial del Meta, *Orinoquia,* 30(2): e-872. https://doi.org/10.22579/20112629.872

La Revista Orinoquia es una revista de acceso abierto revisada por pares. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte http://creativecommons.org/licenses/by/4.0
OPEN ACCESS

un subconjunto de diez descriptores de valencia positiva del protocolo Welfare Quality®, sobre escala visual analógica (VAS) de 0 a 100 puntos en dos franjas horarias diurnas fijas. Los datos se analizaron con prueba t de Student al nivel del lote (Hurlbert, 1984) y modelo lineal mixto al nivel del animal individual, con α= 0,05. El PRV registró una GDP media de 624 ± 42 g/animal/día frente a 484 ± 50 g/animal/día del sistema convencional (Δ= +140 g/día; t(2)= 4,94; p= 0,039; intervalo de confianza del 95%: 18-261 g/día), equivalente a 21,1 kg adicionales de peso vivo por animal durante el ciclo. La disponibilidad forrajera se estimó por el método de rendimiento comparativo (Haydock y Shaw, 1975), con calibración independiente por tratamiento, en cinco fechas. La CC final fue mayor en PRV (4,08 ± 0,44 vs. 3,57 ± 0,09; t(2)= 6,53; p= 0,023; d de Cohen= 1,61); el cambio individual de la condición corporal (Δ CC) alcanzó significancia únicamente al nivel del animal (p= 0,027) y no al nivel del lote (p= 0,081), por lo que se interpreta como una tendencia consistente. No se detectaron diferencias significativas en la carga animal entre sistemas (1,16 vs. 1,13 unidades animal por hectárea; p= 0,722). La materia seca disponible antes del pastoreo fue 37,5 % mayor bajo PRV (1.147 ± 322 vs. 834 ± 303 kg/ha; p= 0,012), el consumo aparente 66,0% superior (634 ± 240 vs. 382 ± 150 kg MS/ha; p= 0,017) y la eficiencia de cosecha de 54,0% frente a 45,0% (p= 0,013), con forraje residual equivalente entre sistemas. La evaluación cualitativa del comportamiento documentó puntuaciones superiores en los diez descriptores de valencia positiva bajo PRV, alcanzando significancia tras corrección por comparaciones múltiples en ocho descriptores. Bajo las condiciones evaluadas —una finca, un ciclo productivo y dos lotes por tratamiento—, el PRV registró un mayor desempeño productivo y una expresión más frecuente de descriptores de valencia positiva. El estudio no determinó la calidad nutricional del forraje ni incluyó descriptores de valencia negativa, y el muestreo forrajero no se resolvió al nivel del lote, por lo cual la mayor disponibilidad forrajera se enuncia como explicación plausible y no como mecanismo establecido, y los resultados no permiten pronunciarse sobre la presencia de estrés; la generalización requiere réplicas independientes.

Palabras clave: pastoreo racional Voisin; condición corporal; comportamiento animal; ganado.

ABSTRACT

Voisin Rational Grazing (VRG) is a regenerative management approach for which empirical evidence within the Colombian plains foothills is scarce. The objective of this study was to comparatively evaluate the effect of VRG versus a conventional rotational system on average daily gain (ADG) and body condition score (BCS) and positive grazing behavior in male Levante cattle, under conditions evaluated at the National Learning Service (SENA) in Meta. The experiment was conducted over 151 days (June–November 2025) at the El Hachón farm on established Urochloa humidicola subsp. dictyoneura (syn. Brachiaria humidicola) pastures located on Oxisols. The study included 20 BON × Gyr × Holstein crossbred cattle (initial weight 235.9 ± 32.2 kg), distributed into four groups of five animals (n = 2 groups per treatment). Treatment T1-PRV consisted of 40 plots of 0.133 hectares (ha), with a grazing period (GP) of 1 day and a rest period (RP) of 39 days; T2-Conventional grazing consisted of four sub-pastures of 1.33 ha, with a GP of 7 days and an RP of 21 days, maintaining equivalent stocking rates across systems. ADG was determined by serial individual weighing using a Tru-Test® scale; BCS was assessed on a 1–5 scale following the protocol by Edmonson et al., (1989); behavior was recorded using a subset of ten positive-valence descriptors from the Welfare Quality® protocol on a visual analog scale (VAS) from 0 to 100 points, within two fixed daytime windows. Data were analyzed using Student's t-test at the herd level (Hurlbert, 1984) and a mixed linear model at the individual animal level, with α = 0.05. The VRG system recorded a mean ADG of 624 ± 42 g/animal/day compared to 484 ± 50 g/animal/day for the conventional system (Δ = +140 g/day; t(2) = 4.94; p = 0.039; 95% confidence interval: 18–261 g/day), equivalent to an additional 21.1 kg of live

Vol 30 No. 2 e-872 julio - diciembre 2026.
DOI: https://doi.org/10.22579/20112629.872

weight per animal over the cycle. Forage availability was estimated with the comparative yield method (Haydock and Shaw, 1975) using treatment-specific calibration equations on five sampling dates. Final BCS was higher under VRG (4.08 ± 0.44 vs. 3.57 ± 0.09; t(2) = 6.53; p = 0.023; Cohen's d = 1.61), although the individual change in body condition (Δ BCS) reached significance only at the animal level (p = 0.027) and not at the group level (p = 0.081), and is therefore interpreted as a consistent trend. Stocking rates were statistically equivalent between systems (1.16 vs. 1.13 animal units per hectare; p = 0.722). Pre-grazing dry matter was 37.5% higher under VRG (1,147 ± 322 vs. 834 ± 303 kg/ha; p = 0.012), apparent intake was 66.0% higher (634 ± 240 vs. 382 ± 150 kg DM/ha; p = 0.017) and harvest efficiency was 54.0% vs. 45.0% (p = 0.013), with equivalent post-grazing residual. The qualitative assessment of behavior documented higher scores on the ten positive valence descriptors under VRG, reaching statistical significance after correction for multiple comparisons in eight of the descriptors. Under the evaluated conditions —one farm, one production cycle and two groups per treatment— VRG showed higher productive performance and a more frequent expression of positive-valence descriptors. Because forage nutritional quality was not determined, negative-valence descriptors were not scored and forage sampling was not resolved to the group level, the greater forage availability is stated as a plausible explanation rather than an established mechanism, and the results support no claim about the absence of stress; hence, generalization requires independent replication.

Keywords: Voisin Rational Grazing; body condition; animal behavior; livestock.

RESUMO

O Pastoreio Racional Voisin (PRV) é uma alternativa de manejo regenerativo cuja evidência empírica nas condições do sopé da planície colombiana ainda é limitada. O objetivo deste estudo foi avaliar comparativamente o efeito do PRV em relação a um sistema rotacionado convencional sobre o ganho médio diário de peso (GMD), a condição corporal (CC) e o comportamento de pastejo de bovinos machos em fase de recria, no Centro Agroindustrial do Meta do Serviço Nacional de Aprendizagem (SENA). O experimento foi conduzido durante 151 dias, entre junho e novembro de 2025, na fazenda El Hachón, em pastagens estabelecidas de Urochloa humidicola subsp. dictyoneura, em solos Oxisols. Foram utilizados 20 bovinos cruzados BON × Gir × Holandês, com peso inicial de 235,9 ± 32,2 kg, distribuídos em quatro lotes de cinco animais, sendo dois lotes por tratamento. O tratamento T1-PRV foi conduzido em 40 parcelas de 0,133 hectare (ha), com período de ocupação (PO) de 1 dia e período de descanso (PD) de 39 dias. O tratamento T2-Pastejo convencional foi conduzido em quatro subpastos de 1,33 ha, com PO de 7 dias e PD de 21 dias, mantendo-se carga animal equivalente entre os sistemas. O GMD foi determinado por meio de pesagens individuais seriadas com balança Tru-Test®; a CC foi avaliada em escala de 1 a 5, de acordo com o protocolo de Edmonson et al. (1989); e o comportamento foi registrado por meio de um subconjunto de dez descritores de valência positiva do protocolo Welfare Quality®, em escala visual analógica (VAS) de 0 a 100 pontos, em duas janelas horárias diurnas fixas. Os dados foram analisados por meio do teste t de Student no nível do lote, conforme Hurlbert (1984), e por modelo linear misto no nível individual dos animais, adotando-se $\alpha = 0,05$. O PRV apresentou GMD médio de 624 ± 42 g/animal/dia, em comparação com 484 ± 50 g/animal/dia no sistema convencional, representando uma diferença de +140 g/dia; t(2) = 4,94; p = 0,039; intervalo de confiança de 95%: 18–261 g/dia. Esse resultado correspondeu a 21,1 kg adicionais de peso vivo por animal durante o ciclo. A disponibilidade de forragem foi estimada pelo método de rendimento comparativo (Haydock e Shaw, 1975), com equações de calibração independentes por tratamento, em cinco datas. A CC final foi maior no PRV, com valores de 4,08 ± 0,44, em comparação com 3,57 ± 0,09 no sistema convencional; t(2) = 6,53; p = 0,023; d de Cohen = 1,61. Contudo, a variação

individual da condição corporal (△ CC) alcançou significância apenas no nível do animal (p = 0,027) e não no nível do lote (p = 0,081), sendo interpretada como uma tendência consistente. A carga animal foi estatisticamente equivalente entre os sistemas, com 1,16 e 1,13 unidades animais por hectare, respectivamente; (p = 0,722). A matéria seca disponível antes do pastejo foi 37,5 % maior sob PRV (1.147 ± 322 vs. 834 ± 303 kg/ha; p = 0,012), o consumo aparente 66,0 % superior (p = 0,017) e a eficiência de colheita de 54,0 % frente a 45,0 % (p = 0,013), com resíduo pós-pastejo equivalente entre os sistemas. A avaliação qualitativa do comportamento registrou pontuações superiores nos dez descritores de valência positiva sob o PRV, com significância estatística, após correção para comparações múltiplas, em oito descritores. Nas condições avaliadas —uma fazenda, um ciclo produtivo e dois lotes por tratamento—, o PRV apresentou maior desempenho produtivo e expressão mais frequente de descritores de valência positiva. O estudo não determinou a qualidade nutricional da forragem, não incluiu descritores de valência negativa e a amostragem forrageira não foi resolvida no nível do lote, de modo que a maior disponibilidade de forragem é enunciada como explicação plausível e não como mecanismo estabelecido, e os resultados não permitem afirmações sobre a ausência de estresse; a generalização exige réplicas independentes.

Palavras-chave: Pastoreio Racional Voisin; condição corporal; comportamento animal; bovinos.

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina aporta cerca del 1,6% del producto interno bruto (PIB) colombiano y es uno de los renglones más extendidos del sector rural, sobre todo en la Orinoquía (Cruz et al., 2024; Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2024). El departamento del Meta concentra el 9,5% del inventario bovino nacional y ocupa el segundo lugar del país en producción de carne, apoyado en praderas establecidas sobre suelos oxisoles del piedemonte llanero (ICA, 2024). Este peso económico, sin embargo, convive con problemas persistentes: degradación del suelo, baja productividad por hectárea y vacíos en el bienestar de los animales, que en buena medida se explican por un manejo extensivo del pastoreo y por el uso intensivo de gramíneas mejoradas sin una planificación cuidadosa del tiempo de descanso (Duque et al., 2022; Ramírez-Restrepo et al., 2023). El problema se agrava porque la ganadería colombiana opera en escenarios agroclimáticos propios que rara vez permiten trasladar las tecnologías desarrolladas en zonas templadas o en trópicos de suelos más fértiles (Kumar et al., 2023; Uddin y Kebreab, 2020).

Frente a este escenario, el pastoreo regenerativo ha ganado terreno como un conjunto de estrategias orientadas a recuperar la función del agroecosistema mediante el movimiento planificado del ganado y el descanso suficiente de la pradera (Teague y Kreuter, 2020; Gosnell et al., 2020). Dentro de esta corriente, el pastoreo racional Voisin (PRV) es quizás la propuesta más estructurada y mejor documentada para condiciones tropicales (Bautista-García et al., 2022; Pacheco-Hernández et al., 2024; Pinheiro Machado Filho et al., 2021). El agrónomo francés André Voisin lo formuló a mediados del siglo pasado a partir de una observación aparentemente simple, pero de consecuencias profundas: el rendimiento de una pradera no depende solo de cuántos animales la pastorean, sino, sobre todo, de cuánto tiempo se le permite descansar entre un pastoreo y el siguiente.

Esa intuición quedó condensada en las cuatro leyes universales del pastoreo (Voisin, 1959), que constituyen el núcleo teórico del sistema. **La ley del reposo** establece que, entre dos cortes sucesivos, la planta forrajera debe disponer del tiempo suficiente para acumular reservas en sus raíces y alcanzar un rebrote vigoroso. **La ley de la ocupación** señala que el animal no debe permanecer en un mismo potrero el tiempo necesario para que las plantas ya pastoreadas vuelvan a brotar y sean cortadas de nuevo, pues ese rebrote temprano agota la planta. **La ley del rendimiento máximo**

Vol 30 No. 2 e-872 julio - diciembre 2026.
DOI: https://doi.org/10.22579/20112629.872

plantea que los animales con mayores requerimientos deben acceder primero al mejor forraje disponible, optimizando la conversión del recurso. Finalmente, la **ley del rendimiento regular** busca que cada animal permanezca en cada potrero el menor tiempo posible, de modo que coseche un forraje homogéneo en calidad. En conjunto, estas leyes desplazan el eje del manejo desde la carga animal hacia la gestión del tiempo de descanso y es, precisamente este desplazamiento conceptual, el que distingue al PRV de un pastoreo rotacional convencional, en el cual los periodos de ocupación prolongados y los descansos cortos rara vez permiten que la pradera complete su ciclo de recuperación.

La literatura internacional acumula evidencia favorable al manejo intensivo subdividido. Jordon et al. (2022), en un metaanálisis sobre pastoreo rotacional y praderas multiespecíficas, encontraron que los periodos de descanso prolongados se asocian de manera consistente con una mayor ganancia diaria de peso (GDP). Hall et al. (2020) documentaron que el manejo planificado del pastoreo se relaciona con incrementos de GDP que van de 0,37 hasta 0,51 kg por animal al día. En contextos sudamericanos, Reyes-Silva et al. (2022) reportaron para el PRV bajo praderas tropicales un aumento de 506,8 litros por hectárea por año en producción láctea, y una reducción de costos a 0,34 dólares estadounidenses (USD) por litro. Estos antecedentes coinciden en señalar que la gestión del tiempo de descanso, más que la intensidad de uso del potrero constituye el factor determinante de la respuesta productiva del rebaño bajo manejo intensivo subdividido.

En el contexto colombiano, la evidencia local es comparativamente menor pero consistente con los reportes internacionales. Roncallo et al. (2012), en el Valle del Cesar, reportaron incrementos del 46,3% en GDP al pasar a pastoreo rotacional; Quiceno y Contreras (2013), en la finca Playa Rica de Maní (Casanare), encontraron una GDP de 702 g/día en pastoreo rotacional en franjas frente a 554 g/día en rotacional convencional; Marín-García et al. (2022), en la finca Bendavales (Versalles, Valle del Cauca), caracterizaron el PRV como un modelo viable para producción limpia intensiva. Específicamente, en el piedemonte llanero, los trabajos de Rincón et al. (2018) en el Centro de Investigación La Libertad (Agrosavia) sobre *Urochloa humidicola subsp. dictyoneura* constituyen la línea base agronómica de referencia para la región, aunque sin contraste experimental directo entre sistemas de manejo intensivo subdividido y rotacional convencional. No obstante, aún es limitada la evidencia experimental que compare directamente sistemas PRV y convencionales incorporando simultáneamente indicadores productivos, de condición corporal y de bienestar comportamental bajo las condiciones edafoclimáticas del piedemonte llanero colombiano. En este contexto, el presente estudio aporta evidencia empírica generada en condiciones operativas reales del Centro Agroindustrial del Meta del SENA.

El comportamiento al pastoreo añade una dimensión que la sola medición productiva no captura. Cómo distribuyen los animales su tiempo entre pastorear, rumiar y descansar, y qué disposición emocional muestran al hacerlo, se reconocen hoy como señales sensibles de su bienestar (Keeling et al., 2021; Spigarelli et al., 2020; Rivero et al., 2022). Una herramienta especialmente útil para leer esas señales es la Evaluación Cualitativa del Comportamiento (Qualitative Behaviour Assessment, QBA) del protocolo Welfare Quality®, validada por Wemelsfelder et al. (2001) y adaptada específicamente para vacas en pastoreo por Aubé et al. (2025). La QBA permite valorar el estado afectivo del animal en el propio potrero, sin procedimientos invasivos, mediante descriptores estandarizados puntuados sobre una escala visual analógica (VAS). Fleming et al. (2016) mostraron su aporte para apreciar el bienestar del ganado en distintos sistemas, y Tuyttens et al. (2014) advirtieron sobre el sesgo del observador, un riesgo que se atenúa con un evaluador bien entrenado. Conviene subrayar un giro conceptual de fondo: bajo el modelo actualizado de los Cinco Dominios (Mellor, 2016; Mellor et al., 2020), el bienestar ya no se entiende

solo como la ausencia de sufrimiento, sino como la presencia activa de estados positivos (Lawrence et al., 2019; Vigors y Lawrence, 2019). De ahí que los descriptores de valencia positiva cobren un valor particular como herramienta práctica de gestión en la finca.

Estudios recientes han evidenciado además que el acceso al pastoreo, frente al confinamiento, se asocia con indicadores favorables de bienestar conductual (Arnott et al., 2017; Crump et al., 2019, 2021; Mee y Boyle, 2020; Cooke et al., 2023), lo cual respalda la pertinencia de comparar sistemas pastoriles entre sí, en lugar de comparar pastoreo con confinamiento, como es el caso del presente estudio.

La relevancia local de esta comparación se sustenta en las condiciones edafoclimáticas particulares del piedemonte llanero —oxisoles ácidos de baja fertilidad, alta saturación de aluminio, precipitación promedio anual de 2.953 milímetros (mm) y estacionalidad marcada con época seca entre enero y mediados de marzo— que condicionan de manera específica la respuesta productiva de las praderas tropicales y del rebaño bovino que las aprovecha (Rincón et al., 2018). La elección de *Urochloa humidicola subsp. dictyoneura* como especie forrajera no es casual: esta gramínea constituye la base alimentaria predominante de los sistemas ganaderos de la región y fue caracterizada agronómicamente sobre oxisol por Rincón et al. (2018) en el Centro de Investigación La Libertad (Agrosavia), a menos de cinco kilómetros del sitio experimental, lo que permite comparar los resultados con la línea base regional. Los referentes internacionales sobre PRV, generados mayoritariamente en zonas templadas o tropicales con suelos más fértiles, no son directamente transferibles al productor local, lo que configura una brecha de información que limita la adopción técnicamente fundamentada del sistema en la región. A ello se suma el carácter formativo y demostrativo del Centro Agroindustrial del Meta, en virtud del cual los hallazgos constituyen insumos directos para los procesos de formación técnica y tecnológica que la institución desarrolla con productores y aprendices del sector pecuario regional.

En este marco, el objetivo del presente estudio fue evaluar comparativamente el efecto del pastoreo racional Voisin frente a un sistema de pastoreo convencional rotacional sobre la ganancia diaria de peso, la condición corporal y el comportamiento positivo al pastoreo de bovinos machos de levante cruzados BON × Gyr × Holstein, en praderas de *Urochloa humidicola subsp. dictyoneura* sobre oxisoles del piedemonte llanero colombiano. Se planteó como hipótesis de trabajo que los bovinos manejados bajo PRV presentarían una ganancia diaria de peso significativamente superior, una mejor reposición de la condición corporal y mayores puntuaciones en los descriptores de comportamiento positivo frente al sistema convencional rotacional, en contraste con la hipótesis nula de ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre ambos sistemas. El propósito último es generar evidencia empírica local que respalde la decisión de adopción del sistema por parte de productores, técnicos y gestores de procesos formativos en el territorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de investigación

Se desarrolló un estudio experimental, comparativo, longitudinal y cuantitativo, conforme a la lógica hipotético-deductiva descrita por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018). El estudio se llevó a cabo durante 151 días, entre el 26 de junio y el 24 de noviembre de 2025 e implicó la manipulación de dos sistemas de pastoreo —PRV y convencional rotacional— sobre unidades experimentales animales asignadas a cada tratamiento, con cinco mediciones repetidas de peso y condición corporal en los días 0, 30, 62, 96 y 151.

Localización

La investigación se realizó en la finca El Hachón del Centro Agroindustrial del Meta (SENA), municipio de Villavicencio, departamento del Meta,

Vol 30 No. 2 e-872 julio - diciembre 2026.
DOI: https://doi.org/10.22579/20112629.872

ORINOQUIA

Colombia, ubicada en el kilómetro 12 de la vía Villavicencio–Puerto López (coordenadas: 4°03'58" N, 73°31'00" W). La zona corresponde a la subregión del piedemonte llanero, con clima clasificado como selva tropical (Af) según Köppen. La temperatura promedio anual es de 26 °C, la humedad relativa media de 80% y la precipitación media anual de 2.953 mm. Los suelos son oxisoles de textura franco arcilloso-arenosa, con alta saturación de aluminio y baja disponibilidad de fósforo (Rincón et al., 2018).

Revisión sistemática de soporte

La fundamentación conceptual del estudio se apoyó en una revisión sistemática conforme a las directrices PRISMA 2020 (Page et al., 2021), conducida sobre cuatro bases de datos (Scopus, Dimensions, Google Scholar y OpenAlex) entre junio y diciembre de 2025. La búsqueda combinó descriptores controlados y términos libres sobre ganado bovino, pastoreo racional, pastoreo rotacional, comportamiento animal, bienestar animal y producción tropical, restringida a artículos publicados entre 2017 y 2025 en revistas indexadas. El tamizado por título, resumen y texto completo consolidó una bitácora final de 94 estudios distribuidos en cuatro pilares temáticos. De estos, 84 fueron temáticamente compatibles con el alcance del presente artículo y se distribuyeron así: 37 estudios sobre manejo del pastoreo y rotación de potreros, 27 sobre bienestar animal y desempeño productivo, y 20 sobre comportamiento al pastoreo y QBA. El 95% de las referencias seleccionadas (89/94) correspondió a publicaciones en revistas de cuartil Q1.

Diseño experimental

Se implementó un diseño completamente al azar (DCA) con dos tratamientos y dos réplicas a nivel de lote por tratamiento, en un arreglo balanceado de cuatro lotes experimentales contiguos sobre 10,64 ha de praderas establecidas. La unidad experimental fue el lote de manejo (n= 2 por tratamiento) y la unidad de medición fue el animal individual anidado dentro del lote (n= 5 por lote), siguiendo las recomendaciones de Hurlbert (1984) y Lazic et al. (2018) para evitar la pseudorreplicación frecuente en estudios comparativos de sistemas pastoriles. El modelo estadístico asumido fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde Y_{ij} representa la observación j-ésima del tratamiento i-ésimo, μ es la media general, τ_i corresponde al efecto fijo del i-ésimo sistema de pastoreo (i= 1, 2) y ε_{ij} es el error experimental aleatorio. La asignación de animales a tratamientos se realizó por aleatorización simple previa estratificación por peso vivo inicial (235,9 ± 32,2 kg).

Tratamientos

T1 — Pastoreo racional Voisin (PRV): implementado en los lotes 19 y 20 (5,32 ha en total), cada uno subdividido en 20 parcelas de 0,133 ha mediante cordón eléctrico móvil, configurando 40 parcelas en total por ciclo. El PO fue de un día y el PD de 39 días, conforme a las cuatro leyes universales del PRV (Voisin, 1959). La dimensión de cada franja se ajustó semanalmente para mantener una oferta de pradera acorde con los requerimientos del lote.

T2 — Pastoreo convencional rotacional: implementado en los lotes 21 y 22 (5,32 ha en total), cada uno dividido en dos subpotreros de 1,33 ha mediante cerca eléctrica perimetral (cuatro subpotreros en total). El PO fue de 7 días y el PD de 21 días, configurando un ciclo de 28 días. Este manejo corresponde al sistema histórico de la finca.

En ambos tratamientos los animales contaron con acceso libre a agua potable mediante bebederos australianos con flotador, sal mineralizada con 8% de fósforo en saleros bajo techo y sombra perimetral arbórea. No se aplicó fertilización ni control químico de arvenses durante el experimento. Los cuatro lotes estuvieron físicamente separados por cerco perimetral eléctrico, cortinas vivas de árboles y una vía interna de tránsito, lo cual garantizó la independencia espacial entre réplicas.

Animales experimentales

Se trabajó con 20 bovinos machos en categoría de levante, cruzados BON × Gyr × Holstein, con peso vivo inicial promedio de 235,9 ± 32,2 kg, clínicamente sanos, con plan sanitario al día (vacunación contra fiebre aftosa y brucelosis, y desparasitación vigente) y permanencia mínima de 30 días en la finca previos al inicio del experimento. Los animales asignados al tratamiento PRV se identificaron como T1_01 a T1_10 y los del tratamiento convencional como T2_01 a T2_10. Los criterios de inclusión exigieron CC mínima de 2,5 en escala 1–5; los criterios de exclusión fueron antecedentes de enfermedad metabólica o infecciosa en los 60 días previos. Los animales se distribuyeron en cuatro lotes de cinco individuos, balanceados por peso vivo inicial; no se observaron diferencias estadísticas en peso inicial entre tratamientos (T1-PRV: 235,6 ± 32,8 kg; T2-convencional: 236,2 ± 32,3 kg; p= 0,968).

Variables evaluadas e instrumentación

La disponibilidad de forraje se estimó mediante el método de rendimiento comparativo (Comparative Yield Method, CYM) descrito por Haydock y Shaw (1975). Para cada tratamiento se construyó una ecuación de calibración independiente a partir de ocho puntos de referencia que cubrieron las cinco clases de una escala visual de rendimiento (1 a 5). En cada punto se realizó un corte destructivo sobre marco de 0,25 m² a 15 cm de altura sobre el suelo (Castillo et al., 2022) y el material se secó en estufa a 60 °C durante 72 horas hasta peso constante; la conversión a materia seca (MS) por hectárea siguió la expresión MS (kg/ha)= peso seco (g) / 0,25 m² × 10. El ajuste por mínimos cuadrados ordinarios arrojó las ecuaciones MS= 23,1 + 504,9 × clase (R^2= 0,969; error estándar de la pendiente= 36,7) para el T1-PRV y MS= 222,0 + 344,1 × clase (R^2= 0,976; error estándar de la pendiente= 22,0) para el T2-Convencional. Se emplearon ecuaciones separadas porque la estructura del dosel difiere entre sistemas con periodos de descanso de 39 y 21 días, de modo que una misma clase visual no corresponde a la misma masa de forraje en ambos tratamientos.

Tabla 1 Variables productivas, de manejo y comportamentales evaluadas en el estudio

Variable	Unidad	Método / Instrumento	Frecuencia
Peso vivo (PV)	kg	Pesaje individual; báscula Tru-Test® calibrada	Días 0, 30, 62, 96, 151
Ganancia diaria de peso (GDP)	g/animal/día	GDP = (PF − PI) / n.° días	Por periodo y ciclo total
Condición corporal (CC)	Escala 1–5	Evaluación visual; Edmonson et al. (1989)	En cada pesaje
Carga animal	UA/ha	PV total del lote / área efectiva	Por ciclo
MS disponible prepastoreo	kg MS/ha	Método de rendimiento comparativo (CYM) calibrado; Haydock y Shaw (1975)	5 fechas
MS residual pospastoreo	kg MS/ha	Método de rendimiento comparativo (CYM) calibrado	5 fechas
Consumo aparente	kg MS/ha por ciclo	MS prepastoreo − MS residual	5 fechas
Eficiencia de cosecha	%	(Consumo aparente / MS prepastoreo) × 100	5 fechas
Altura del forraje	cm	Medición directa con regla centimétrica	5 fechas
Relación hoja:tallo	—	Conteo manual de hoja y tallo sobre muestra de corte	5 fechas
Descriptores de valencia positiva (QBA parcial)	VAS 0-100	10 descriptores positivos Welfare Quality®	20 sesiones/sistema

Nota. UA= unidad animal de 400 kg de peso vivo; QBA= Qualitative Behaviour Assessment; VAS= visual analog scale (escala visual analógica). La carga animal se reporta como variable de manejo del sistema de pastoreo. Se puntuó únicamente el subconjunto de descriptores de valencia positiva del protocolo Welfare Quality®; no se registraron descriptores de valencia negativa, por lo que la aplicación del QBA es parcial (véase la sección 2.7).

Sobre esa calibración, se estimó la MS disponible antes del ingreso de los animales y la MS residual a la salida en cinco fechas coincidentes con los pesajes (26 de junio, 26 de julio, 27 de agosto, 30 de septiembre y 24 de noviembre de 2025), que cubrieron la época de lluvias, la transición y el inicio de la seca. De ambas mediciones se derivaron el consumo aparente (MS prepastoreo − MS residual)

Vol 30 No. 2 e-872 julio - diciembre 2026.
DOI: https://doi.org/10.22579/20112629.872
ORINOQUIA

y la eficiencia de cosecha (consumo aparente / MS prepastoreo × 100). En las mismas fechas se registraron la altura del forraje, medida de forma directa con regla centimétrica sobre el dosel, y la relación hoja:tallo, determinada por conteo manual de hoja y tallo sobre la muestra de corte, como descriptores estructurales del dosel. El muestreo forrajero se realizó al nivel del tratamiento en cada fecha y no se resolvió al nivel del lote; en consecuencia, estas variables se analizan con la fecha como unidad de comparación, mediante prueba t para muestras pareadas —ambos sistemas se muestrearon en las mismas fechas—, y se interpretan como evidencia de apoyo y no como contraste confirmatorio al nivel de la unidad experimental. No se realizaron análisis bromatológicos, por lo que la calidad nutricional del forraje (proteína cruda, fibra, digestibilidad) no fue determinada.

El comportamiento se evaluó mediante diez descriptores de valencia positiva del protocolo Welfare Quality® (Welfare Quality, 2009), siguiendo la validación específica para vacas en pastoreo de Aubé et al. (2025) y los antecedentes metodológicos de Andreasen et al. (2013), Fleming et al. (2016) y Aubé et al. (2022): Activo, Relajado, Tranquilo, Satisfecho, Amigable, Juguetón, Animado, Curioso, Sociable y Feliz. Se trata de una aplicación parcial del QBA y conviene declararlo con precisión: el protocolo completo puntúa descriptores de valencia positiva y negativa, y deriva su interpretación del contraste entre ambos conjuntos, habitualmente mediante análisis de componentes principales sobre la matriz completa de términos. La restricción a descriptores positivos respondió al marco de bienestar positivo de Mellor (2016) y Mellor et al. (2020), que sitúa la presencia de estados afectivos positivos —y no solo la ausencia de sufrimiento— como objeto de medición. Esa decisión acota el alcance de la variable: los resultados describen con qué frecuencia e intensidad se expresaron conductas de valencia positiva, y no permiten estimar la carga de estados afectivos negativos ni pronunciarse sobre la presencia o ausencia de estrés en ninguno de los dos sistemas. Cada descriptor se puntuó sobre una VAS de 0 a 100 puntos por un observador entrenado en el protocolo, con sesiones de observación grupal de 20 minutos en dos franjas horarias diarias (09:40–10:00 y 15:40–16:00) sobre 20 sesiones por tratamiento durante el ciclo experimental. Estas franjas se fijaron para estandarizar las condiciones de observación y permitir el pareamiento temporal entre tratamientos, pero no coinciden con los picos de pastoreo del amanecer y del atardecer ni cubren las horas nocturnas: el registro corresponde, por tanto, a una fracción acotada del presupuesto diario de actividad y puede subrepresentar los episodios de interacción social y de competencia por el recurso forrajero. Para mitigar el potencial sesgo del observador documentado por Tuyttens et al. (2014), las sesiones se realizaron en bloques temporales pareados (ambos tratamientos evaluados el mismo día y en las mismas franjas horarias). Para el análisis se utilizó el promedio de las dos puntuaciones diarias por descriptor.

Análisis estadístico

Los datos se procesaron en R versión 4.3.2 (R Core Team, 2023) y Python 3.11 con SciPy. Para cada variable cuantitativa se calcularon estadísticos descriptivos (media, desviación estándar e intervalo de confianza al 95%) y se verificaron los supuestos de normalidad (Shapiro–Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene con pivote en la mediana; Brown y Forsythe, 1974). La comparación de medias entre sistemas se realizó mediante prueba t de Student para muestras independientes a dos niveles: a nivel del lote (n= 2 por tratamiento; df= 2), como unidad experimental conforme a Hurlbert (1984); y a nivel del animal individual (n= 10 por tratamiento; df= 18), como análisis complementario de mayor potencia. Para la evolución temporal del peso vivo se ajustó adicionalmente un modelo lineal mixto con la estructura peso ~ tratamiento × tiempo + (1|Animal) mediante el paquete lme4 (Bates et al., 2015), con significancia evaluada por el método de Satterthwaite implementado en lmerTest (Kuznetsova et al., 2017). Para los descriptores QBA se aplicó la prueba t cuando se cumplieron los supuestos paramétricos, la prueba t de Welch

cuando no hubo homogeneidad de varianzas, y la prueba U de Mann–Whitney cuando no se cumplió la normalidad en al menos un grupo; los p-valores se ajustaron por el procedimiento de Benjamini y Hochberg (1995) para controlar la tasa de falsos descubrimientos. El tamaño del efecto se reportó mediante la d de Cohen con intervalos de confianza al 95% obtenidos por *bootstrap* no paramétrico de 2.000 réplicas (Cohen, 1988). El nivel de significancia se fijó en $\alpha = 0,05$. El contraste al nivel del lote constituye la inferencia primaria por corresponder a la unidad experimental del diseño, pero opera con dos grados de libertad y, en consecuencia, con potencia estadística baja: en ese nivel un resultado no significativo no debe leerse como evidencia de ausencia de efecto, sino como una diferencia que el diseño carece de capacidad para resolver. El análisis al nivel del animal individual y el modelo lineal mixto se reportan como complementos descriptivos de mayor potencia nominal, con la advertencia de que sus grados de libertad exceden el número de unidades experimentales efectivamente replicadas y que, por tanto, sus valores p son anticonservadores respecto de la estructura del diseño (Hurlbert, 1984; Lazic et al., 2018).

RESULTADOS

Equivalencia de la carga animal entre sistemas

La carga animal fue estadísticamente equivalente entre los dos sistemas de pastoreo (1,16 ± 0,08 UA/ha en PRV vs. 1,13 ± 0,07 UA/ha en convencional; t(2)= 0,41; p= 0,722; d= 0,40). Esta equivalencia es un control metodológico relevante para la interpretación de los resultados productivos: dado que ambos sistemas operaron con una presión animal comparable por unidad de superficie, las diferencias observadas en ganancia de peso, condición corporal y comportamiento no pueden atribuirse a una menor densidad de animales en el PRV, sino a la diferencia en la gestión temporal del descanso de los potreros (PD de 39 días en PRV frente a 21 días en convencional).

Desempeño productivo: ganancia diaria de peso

Los animales del T1-PRV registraron una GDP media de 624 ± 42 g/animal/día durante los 151 días del experimento, mientras que los del T2-convencional alcanzaron 484 ± 50 g/animal/día (Tabla 2). La diferencia de 140 g/animal/día a favor del PRV fue estadísticamente significativa al nivel del lote, unidad experimental del diseño (t(2)= 4,94; p= 0,039; IC 95%: 18-261 g/día), con un tamaño del efecto muy grande (d= 4,94 a nivel de lote; d= 3,04 a nivel individual). En términos zootécnicos, esta diferencia se tradujo en 21,1 kg adicionales de peso vivo por animal durante el ciclo, equivalente a un 29% de incremento productivo respecto al manejo convencional. El coeficiente de variación intragrupo fue menor bajo PRV (6,67% vs. 10,33%), lo cual indica una respuesta productiva más homogénea bajo el manejo intensivo subdividido.

Tabla 2 Indicadores productivos de bovinos de levante bajo PRV y pastoreo convencional

Indicador	T1-PRV (n=10)	T2-Convencional (n=10)	p (lote)	p (individual)
Peso inicial (kg)	235,6 ± 32,8	236,2 ± 32,3	—	0,968
Peso final (kg)	329,8 ± 33,8	309,3 ± 36,3	—	0,208
Ganancia total (kg)	94,2 ± 6,3	73,1 ± 7,5	—	< 0,001
GDP (g/animal/día)	624 ± 42	484 ± 50	0,039	< 0,001
Coeficiente de variación GDP (%)	6,67	10,33	—	—
kg adicionales/animal en 151 días	—	—	—	+21,1 kg

Nota. Valores expresados como media ± desviación estándar. GDP= ganancia diaria de peso. El análisis al nivel del lote utiliza n= 2 unidades experimentales por tratamiento conforme a Hurlbert (1984); el análisis individual se reporta como complemento de mayor potencia estadística.

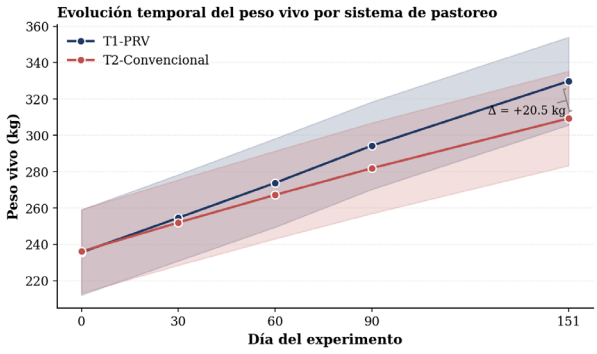
El modelo lineal mixto ajustado al nivel del animal individual confirmó la consistencia del efecto y permitió cuantificar la pendiente diferencial entre sistemas (Tabla 3). El término de interacción tratamiento × tiempo resultó altamente significativo (estimador= 0,1422 kg/día; t= 11,68; p=

Vol 30 No. 2 e-872 julio - diciembre 2026.
DOI: https://doi.org/10.22579/20112629.872

ORINOQUIA

4,01 × 10^{-33}), lo cual indica que la diferencia entre sistemas se acumula de manera lineal a lo largo del experimento y no corresponde a un fenómeno puntual de algún periodo en particular. La GDP estimada por el modelo (0,621 kg/día para PRV vs. 0,479 kg/día para convencional) coincide con la GDP descriptiva observada, lo que respalda la validez del ajuste.

Figura 1 Evolución temporal del peso vivo medio por sistema de pastoreo



Nota. Las bandas sombreadas representan el intervalo de confianza al 95% de la media (n= 10 animales por tratamiento) durante el ciclo experimental de 151 días. La separación entre tratamientos se hace consistente a partir del día 30 y se mantiene hasta el cierre del ciclo. Elaboración propia.

Tabla 3 Resultados del modelo lineal mixto con medidas repetidas de peso vivo

Efecto	Estimado	Error estándar	t	p-valor
Intercepto (Conv., día 0)	236,200	10,340	22,84	<0,001
Tiempo (días)	0,479	0,009	52,10	<0,001
Tratamiento × Tiempo	0,142	0,012	11,68	<0,001

Nota. Estructura del modelo: Peso ~ Tratamiento × Tiempo + (1|Animal). n= 100 observaciones (20 animales × 5 pesajes). Significancia evaluada por el método de Satterthwaite implementado en lmerTest (Kuznetsova et al., 2017). El término de interacción cuantifica la GDP diferencial entre sistemas (0,142 kg/día adicionales bajo PRV).

Condición corporal

La CC inicial promedió 3,72 ± 0,16 unidades en T1-PRV y 3,56 ± 0,30 en T2-convencional (Tabla 4). El contraste al nivel del animal individual no detectó diferencias entre tratamientos (t(18)= 1,49; p= 0,154; d= 0,67); el contraste al nivel del lote, en cambio, alcanzó significancia nominal (p= 0,030). La discrepancia entre ambos niveles de análisis es atribuible a la estructura del contraste al nivel del lote: con dos unidades experimentales por tratamiento. La varianza entre lotes se estima con dos grados de libertad y resulta inestable, de modo que una diferencia pequeña puede alcanzar significancia nominal cuando las medias de los dos lotes de un mismo tratamiento son casi idénticas. La magnitud del desbalance —0,16 unidades en una escala de 1 a 5— se sitúa por debajo del incremento mínimo de registro del protocolo de Edmonson et al. (1989) y no tiene relevancia biológica; aun así, se trató como un desbalance de línea base a efectos analíticos. Por esta razón, la inferencia sobre la respuesta de la condición corporal se sustenta en el cambio individual (Δ CC= CC final − CC inicial), que descuenta por construcción el valor de partida de cada animal, y no en la comparación directa de la CC final. Al cierre del ciclo, la CC final fue de 4,08 ± 0,44 en T1-PRV y de 3,57 ± 0,09 en T2-convencional (Tabla 4), con diferencias significativas al nivel del lote (t(2)= 6,53; p= 0,023) y al nivel del animal individual (t(18)= 3,59; p= 0,005), con un tamaño de efecto grande (d= 1,61; IC 95%: 0,96-3,20); este contraste debe leerse a la luz del desbalance inicial descrito.

El análisis del cambio individual en CC (Δ CC= CC final − CC inicial), indicador que descuenta el desbalance de línea base, mostró que los animales del PRV ganaron en promedio 0,36 ± 0,36 unidades de CC, frente a 0,01 ± 0,28 unidades en el sistema convencional. La diferencia fue significativa al nivel del animal individual (t(18)= 2,41; p= 0,027; d= 1,08), pero no alcanzó el umbral de significancia al nivel del lote, unidad experimental del diseño (p= 0,081; Tabla 4). En consecuencia, la respuesta de la condición corporal se interpreta como una tendencia consistente y no como un efecto confirmado al nivel de la unidad experimental. La Figura 2 muestra que la trayectoria de la CC bajo PRV se mantiene estable durante los primeros 90 días y registra un incremento marcado entre los días 90 y 151, mientras que la CC del sistema convencional permanece prácticamente plana durante todo el ciclo. La Figura 3 presenta la dispersión individual

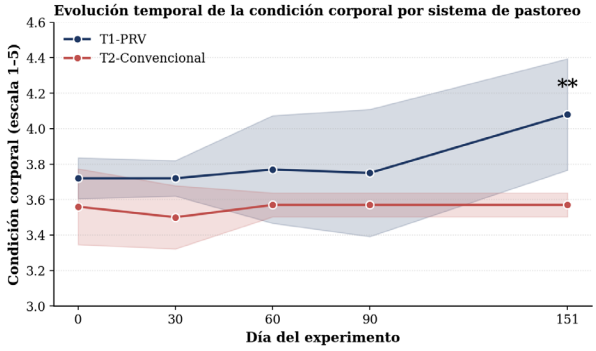
de la GDP (Panel A) y de la CC final (Panel B) por tratamiento, y la Figura 4, la distribución del cambio individual en CC: en el sistema convencional dos animales perdieron CC durante el ciclo (△ CC negativo), mientras que la totalidad de los animales del PRV mantuvieron o incrementaron su condición.

Tabla 4 Evolución de la condición corporal por sistema de pastoreo

Variable	T1-PRV	T2-Convencional	p (lote)	p (individual)	d Cohen
CC inicial	3,72 ± 0,16	3,56 ± 0,30	0,030	0,154	0,67
CC día 62	3,77 ± 0,42	3,57 ± 0,10	—	0,177	0,65
CC final	4,08 ± 0,44	3,57 ± 0,09	0,023	0,005	1,61
△ CC (final − inicial)	+0,36 ± 0,36	+0,01 ± 0,28	0,081	0,027	1,08

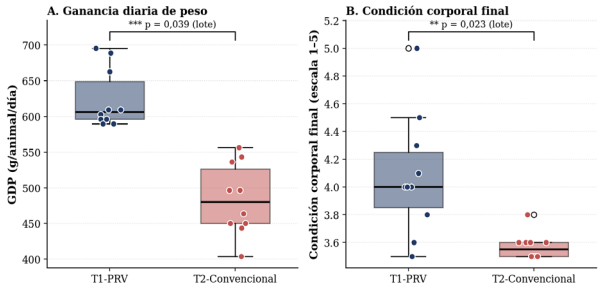
Nota. Valores expresados como media ± desviación estándar (n= 10 animales por tratamiento). CC= condición corporal (escala 1–5 según Edmonson et al., 1989); d Cohen= tamaño del efecto a nivel individual. El análisis al nivel del lote se basa en n= 2 unidades experimentales por tratamiento (df= 2): con ese número de unidades la varianza se estima con dos grados de libertad, por lo que los valores p de esa columna son sensibles a la homogeneidad entre lotes de un mismo tratamiento. El valor p= 0,030 obtenido para la CC inicial al nivel del lote no concuerda con el contraste al nivel del animal individual (p= 0,154) y corresponde a esa inestabilidad; la diferencia absoluta asociada (0,16 unidades) es inferior al incremento mínimo de registro de la escala. La inferencia sobre la respuesta de la CC se apoya en el △ CC, significativo al nivel del animal (p= 0,027) y no significativo al nivel del lote (p= 0,081).

Figura 2 Evolución temporal de la condición corporal por sistema de pastoreo



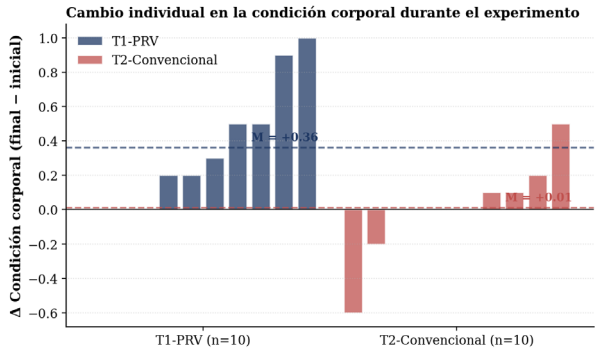
Nota. Las bandas sombreadas representan el intervalo de confianza al 95% de la media. La marca ** señala una diferencia significativa al cierre del ciclo (p <0,01). El incremento sostenido bajo PRV contrasta con la estabilidad de la CC bajo el sistema convencional. Elaboración propia.

Figura 3 Comparación de la GDP y la CC final entre sistemas de pastoreo



Nota. Panel A: GDP individual; Panel B: CC final individual. Cada punto representa un animal (n= 10 por tratamiento). Las cajas muestran los cuartiles (Q1–Q3), la línea negra interna muestra la mediana y los bigotes muestran el rango. Los valores p reportados corresponden al análisis a nivel del lote (df= 2). Elaboración propia.

Figura 4 Distribución del cambio individual en condición corporal por sistema



Nota. △ CC= CC final − CC inicial. Cada barra representa un animal. Las líneas discontinuas indican la media del tratamiento. Todos los animales del PRV mantuvieron o incrementaron su CC; bajo el sistema convencional dos animales perdieron condición durante el ciclo. Elaboración propia.

Descriptores de valencia positiva al pastoreo

La evaluación cualitativa del comportamiento mostró puntuaciones superiores bajo el sistema PRV en los diez descriptores de valencia positiva, con diferencias que llegaron hasta los 20,4 puntos de la VAS 0–100 en el descriptor Tranquilo (Tabla 5). Ocho de esos diez descriptores alcanzaron significancia estadística tras la corrección por comparaciones múltiples, con tamaños de efecto que van de medianos a muy grandes. Los descriptores

Vol 30 No. 2 e-872 julio - diciembre 2026.
DOI: https://doi.org/10.22579/20112629.872

que captaron la separación más marcada entre sistemas fueron Tranquilo (d= +1,62), Feliz (d= +1,29), Juguetón (d= +1,16) y Relajado (d= +1,10), todos coherentes con una mayor disposición afectiva positiva en los animales bajo PRV.

Los dos descriptores que no alcanzaron significancia tras la corrección —Activo (d= +0,60; p ajustado= 0,074) y Amigable (d= +0,34; p ajustado= 0,311)— se mantuvieron en la misma dirección que el resto. Esta consistencia direccional en los diez descriptores positivos, incluso en los que no alcanzaron significancia, refuerza el patrón observado y permite descartar razonablemente un sesgo aleatorio del observador, que produciría direcciones mixtas. El análisis de sensibilidad con la prueba U de Mann–Whitney llegó a conclusiones idénticas en todos los descriptores, lo que sustenta la robustez metodológica del resultado. Conviene delimitar su alcance: al haberse puntuado únicamente descriptores de valencia positiva, los datos informan sobre la expresión de conductas asociadas a estados afectivos positivos y no constituyen evidencia de ausencia de estrés ni de una menor carga de estados afectivos negativos bajo PRV.

Tabla 5 Descriptores de comportamiento positivo (QBA) por sistema de pastoreo

Descriptor positivo	T1-PRV (M ± DE)	T2-Convencional (M ± DE)	Δ	d Cohen	p ajustado
Tranquilo	68,2 ± 14,8	47,8 ± 9,9	+20,4	+1,62	< 0,001
Feliz	71,8 ± 12,8	53,9 ± 14,9	+17,9	+1,29	0,001
Juguetón	54,4 ± 17,6	35,1 ± 15,3	+19,3	+1,16	0,003
Relajado	69,2 ± 12,5	54,6 ± 14,0	+14,6	+1,10	0,004
Curioso	65,0 ± 12,3	52,9 ± 13,6	+12,1	+0,94	0,010
Animado	57,1 ± 9,7	46,1 ± 15,6	+11,0	+0,84	0,019
Satisfecho	62,9 ± 14,4	50,5 ± 17,0	+12,4	+0,79	0,026
Sociable	71,3 ± 13,3	59,9 ± 16,5	+11,4	+0,77	0,028
Activo	64,5 ± 14,7	55,4 ± 15,5	+9,1	+0,60	0,074
Amigable	67,5 ± 12,4	62,1 ± 18,7	+5,4	+0,34	0,311

Nota. QBA= Qualitative Behaviour Assessment, escala visual analógica 0–100. Δ= diferencia de medias (T1-PRV − T2-convencional). Valores p ajustados por el procedimiento de Benjamini y Hochberg (1995) para controlar la tasa de falsos descubrimientos. n= 20 sesiones de observación por tratamiento.

Durante las sesiones de observación, el comportamiento del grupo bajo PRV fue notablemente consistente con su perfil cuantitativo: los animales mostraron posturas exploratorias frecuentes al ingresar a cada nueva franja, sincronizaron sus tiempos de pastoreo y rumia, rara vez recorrieron de manera repetida áreas ya pastoreadas y, entre los individuos jóvenes, fue habitual observar conductas de juego. En el grupo convencional, en cambio, los desplazamientos resultaron más erráticos sobre zonas ya cosechadas —sobre todo en los últimos días de cada periodo de ocupación— y las conductas de juego o exploración aparecieron con menor frecuencia. Estas observaciones cualitativas convergen con los hallazgos cuantitativos y con la literatura comportamental sobre sistemas de rotación frecuente (Charlton y Rutter, 2017; Orihuela, 2021; Anzai e Hirata, 2021).

Disponibilidad y aprovechamiento del forraje

La estimación de la disponibilidad forrajera mediante el método de rendimiento comparativo mostró diferencias consistentes entre sistemas a lo largo de las cinco fechas de muestreo (Tabla 6). La MS disponible antes del ingreso de los animales fue de 1.147 ± 322 kg/ha bajo PRV frente a 834 ± 303 kg/ha bajo el sistema convencional (Δ= +313 kg/ha; +37,5 %; t(4)= 4,33; p= 0,012; IC 95%: 113–514 kg/ha). El consumo aparente por ciclo alcanzó 634 ± 240 kg MS/ha bajo PRV frente a 382 ± 150 kg MS/ha en el convencional (+66,0 %; t(4)= 3,97; p= 0,017), y la eficiencia de cosecha fue de 54,0 ± 6,0 % frente a 45,0 ± 2,8 % (+8,9 puntos porcentuales; t(4)= 4,24; p= 0,013). La MS residual tras el pastoreo no difirió entre sistemas (513 ± 86 frente a 452 ± 153 kg/ha; t(4)= 1,69; p= 0,166), de modo que la mayor extracción bajo PRV no se produjo a costa de un remanente más bajo, sino de una masa de partida mayor al inicio de cada ocupación.

Los descriptores estructurales del dosel siguieron la misma dirección. La altura del forraje fue de 31,4 ± 8,4 cm bajo PRV frente a 21,2 ± 5,4 cm en el convencional (+48,1 %; t(4)= 4,26; p= 0,013) y la relación hoja:tallo, de 1,56 ± 0,29 frente a 1,12 ± 0,36 (+39,3 %; t(4)= 3,92; p= 0,017): un dosel más alto y con mayor proporción de lámina foliar bajo el descanso de 39 días.

La caída estacional afectó a ambos sistemas, aunque con magnitudes distintas. Entre el promedio de la época de lluvias y la medición del inicio de la seca, la MS disponible prepastoreo descendió 42,3% bajo PRV (de 1.273 a 735 kg/ha) y 66,8% en el sistema convencional (de 1.008 a 335 kg/ha), mientras que el consumo aparente pasó de 728 a 350 kg MS/ha en el primero y de 470 a 135 kg MS/ha en el segundo. El sistema con descanso prolongado conservó, por tanto, una fracción mayor de su base forrajera al entrar en la estación desfavorable.

Tabla 6 Indicadores forrajeros por sistema de pastoreo (método de rendimiento comparativo)

Indicador forrajero	T1-PRV	T2-Conv.	Δ (PRV – Conv.)	p pareado
MS disponible prepastoreo (kg MS/ha)	1.147 ± 322	834 ± 303	+313 (+37,5%)	0,012
MS residual pospastoreo (kg MS/ha)	513 ± 86	452 ± 153	+61 (+13,5%)	0,166
Consumo aparente (kg MS/ha por ciclo)	634 ± 240	382 ± 150	+252 (+66,0%)	0,017
Eficiencia de cosecha (%)	54,0 ± 6,0	45,0 ± 2,8	+8,9 pp (+19,8%)	0,013
Altura del forraje (cm)	31,4 ± 8,4	21,2 ± 5,4	+10,2 (+48,1%)	0,013
Relación hoja:tallo	1,56 ± 0,29	1,12 ± 0,36	+0,44 (+39,3%)	0,017

Nota. Valores expresados como media ± desviación estándar de las cinco fechas de muestreo. T2-conv. = tratamiento convencional; MS= materia seca; pp= puntos porcentuales. Los contrastes corresponden a prueba t para muestras pareadas por fecha (t(4)), dado que ambos sistemas se muestrearon en las mismas cinco fechas. El muestreo forrajero se realizó al nivel del tratamiento y no se resolvió al nivel del lote, por lo que estos contrastes constituyen evidencia de apoyo y no un análisis al nivel de la unidad experimental. Elaboración propia.

Análisis correlacional

El análisis de correlación de Pearson entre los indicadores evaluados arrojó una asociación positiva entre la GDP y la condición corporal final (r= 0,68; p< 0,001), lo que confirma que ambos indicadores evolucionaron de manera coherente y refuerza la consistencia interna de los resultados. En la misma línea, los descriptores positivos de mayor valencia afectiva —Tranquilo y Feliz— se asociaron de forma positiva con la ganancia individual de peso a nivel del lote, una dirección compatible con la idea de que el estado afectivo positivo y el desempeño productivo convergen bajo el manejo racional. Conviene tomar estas asociaciones con cautela dado el número reducido de unidades experimentales, pero la coherencia direccional entre las tres dimensiones evaluadas —ganancia de peso, condición corporal y descriptores de valencia positiva— constituye el principal sustento de la consistencia interna de los hallazgos. Las correlaciones entre los indicadores forrajeros y la GDP resultaron moderadas y todas de signo positivo, pero ninguna alcanzó significancia con cinco fechas de muestreo: MS prepastoreo (r= 0,46; p= 0,256), consumo aparente (r= 0,54; p= 0,172), eficiencia de cosecha (r= 0,66; p= 0,075), altura del forraje (r= 0,56; p= 0,146) y relación hoja:tallo (r= 0,67; p= 0,072). Se trata de asociaciones y no de relaciones causales: el diseño no permite establecer qué factor produce cuál, y ninguna de estas correlaciones autoriza a inferir que la disposición afectiva determine el desempeño productivo ni lo contrario.

DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio aportan evidencia local de que el PRV se asocia con una mayor productividad y con una expresión más frecuente de descriptores conductuales de valencia positiva en bovinos de levante, bajo las condiciones evaluadas en el piedemonte llanero. La GDP alcanzada por el grupo bajo PRV (624 g/día) se sitúa en el rango medio-superior de lo reportado para sistemas pastoriles tropicales sin suplementación. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Quiceno y Contreras (2013) en Casanare, quienes registraron 702 g/día bajo un esquema de pastoreo en franjas con ocupación de un día, operacionalmente comparable al PRV evaluado en este estudio. Rincón et al. (2018), en el Centro de Investigación La Libertad de Agrosavia, sobre la misma especie forrajera y con un esquema de ocupación de 7 días y descanso de 21 días —idéntico al T2 aquí evaluado—, registraron 589 g/día en época lluviosa y 379 g/día en seca para el tratamiento sin fertilización. La GDP del grupo convencional del Hachón (484 g/día) se ubicó dentro del rango reportado para sistemas

Vol 30 No. 2 e-872 julio - diciembre 2026.
DOI: https://doi.org/10.22579/20112629.872
ORINOQUIA

comparables en la región, lo que respalda la consistencia externa de los resultados observados y, a la vez, ubica al PRV evaluado en el extremo alto del desempeño descrito para la región. En la misma línea, Marín-García et al. (2022) ya habían documentado esta superioridad sostenida del manejo racional sobre el convencional en condiciones colombianas, al caracterizar el PRV en Versalles (Valle del Cauca).

Un hallazgo metodológicamente relevante es que la diferencia productiva ocurrió sin que la carga animal entre sistemas fuera estadísticamente distinta (1,16 vs. 1,13 UA/ha; p= 0,722). Esta observación permite descartar una de las hipótesis explicativas que con frecuencia se confunden en la literatura: la idea de que el PRV mejora la productividad simplemente porque opera con una menor densidad de animales por unidad de superficie. Dado que la carga animal fue similar entre tratamientos, los resultados sugieren que parte de la diferencia observada podría estar asociada con la gestión temporal del descanso de los potreros. En el sistema PRV, el periodo de descanso fue de 39 días, mientras que en el sistema convencional fue de 21 días, una diferencia que pudo favorecer una mayor disponibilidad y aprovechamiento del recurso forrajero durante el ciclo experimental. Los datos forrajeros aportan sustento empírico a esa lectura. Bajo PRV la MS disponible antes del ingreso de los animales fue 37,5% mayor, el consumo aparente por ciclo 66,0% superior y la eficiencia de cosecha 8,9 puntos porcentuales más alta, sobre un dosel más alto y con mayor proporción de lámina foliar (Tabla 6). El forraje residual, en cambio, no difirió entre sistemas: la mayor extracción no se logró a costa de un remanente más bajo, sino de una masa de partida mayor, patrón coherente con que el descanso de 39 días permitiera un rebrote más completo antes de cada ocupación. Tres precisiones acotan, aun así, el alcance de esta explicación. El muestreo forrajero se realizó al nivel del tratamiento en cada fecha y no se resolvió al nivel del lote, por lo que no constituye un contraste al nivel de la unidad experimental. No se determinó la calidad nutricional del forraje, de manera que la contribución de la composición bromatológica a la respuesta animal permanece sin evaluar. Y las correlaciones entre los indicadores forrajeros y la GDP, aunque moderadas y todas de signo positivo, no alcanzaron significancia con cinco fechas de muestreo. La mayor disponibilidad y el mejor aprovechamiento del forraje bajo PRV quedan documentados; su condición de mecanismo causal de la diferencia en ganancia de peso sigue siendo una inferencia plausible antes que un hecho establecido. Otros factores no controlados —la selectividad del pastoreo, el comportamiento ingestivo o la variación espacial de la fertilidad entre lotes— tampoco pueden descartarse. Este patrón es coherente con el principio de la ley del rendimiento máximo formulado por Voisin (1959) y con los hallazgos de Pinheiro Machado Filho et al. (2021) en su revisión sobre el PRV como alternativa sustentable para la producción ganadera. Hao y He (2019), en su metaanálisis sobre los efectos de los patrones de pastoreo en pastizales, llegaron a una conclusión convergente: la gestión temporal del pastoreo, más que la intensidad de uso, es el factor dominante en la respuesta productiva del sistema pastoril.

La consistencia observada entre la ganancia diaria de peso, la condición corporal y los indicadores de comportamiento positivo constituye uno de los hallazgos más relevantes del estudio. En sistemas de levante tropical, la GDP puede verse alterada por factores transitorios (el clima de la semana del pesaje, un evento sanitario menor, una variación puntual en la oferta forrajera) que introducen ruido en cualquier comparación. Cuando un indicador clínico como la condición corporal, evaluado mediante un protocolo independiente y en una escala distinta, muestra una respuesta concordante, la interpretación de los resultados adquiere mayor robustez. Y cuando el repertorio conductual positivo —medido con un instrumento completamente independiente como el QBA— refuerza el mismo patrón, queda una triangulación metodológica difícil de explicar por artefactos de medición. Esta convergencia entre indicadores agronómico-zootécnicos y comportamentales es justamente el

estándar que proponen Keeling et al. (2021), Spigarelli et al. (2020) y Rivero et al. (2022) para evaluar bienestar en sistemas pastoriles, y dialoga con la perspectiva de bienestar positivo de Lawrence et al. (2019) y de Vigors y Lawrence (2019).

El incremento sostenido de la condición corporal bajo PRV (+0,36 unidades frente a +0,01 en convencional) tiene implicaciones que trascienden el ciclo experimental. En levante tropical sin suplementación, una diferencia cercana a 0,5 unidades de CC al cierre del periodo representa una reserva corporal apreciable en el momento de la transición a la fase de ceba. El ensayo se ejecutó exclusivamente con machos de levante, de modo que estas implicaciones no se extienden al desempeño reproductivo de las hembras, ámbito ajeno tanto al diseño como a los datos aquí obtenidos. El patrón temporal que muestra la Figura 2 —la CC se mantiene estable durante los primeros 90 días y aumenta marcadamente entre el día 90 y el 151 bajo PRV— concuerda con la idea de que el sistema necesita un tiempo de adaptación antes de mostrar su ventaja completa, lo que a su vez encaja con la noción agronómica de que el PRV muestra mayores ventajas a medida que se acumulan ciclos de rebrote sobre potreros con descansos adecuados. Hallazgos en la misma dirección han sido reportados por Ripamonti et al. (2023, 2025) al comparar manejo pastoril y silvopastoril en Italia, donde el manejo del descanso resultó determinante para la respuesta del ganado de carne, y por Romero et al. (2023) en sistemas de cebú bajo pastoreo tropical.

Desde la perspectiva comportamental, los resultados del QBA sugieren que el manejo intensivo subdividido se asocia no solo con una mayor productividad, sino también con un patrón conductual compatible con estados afectivos positivos en el rebaño. Los descriptores con la mayor separación entre sistemas —Tranquilo (+20,4 puntos VAS), Juguetón (+19,3) y Feliz (+17,9)— son precisamente los que mejor capturan el estado afectivo positivo según el marco de Mellor (2016) y el modelo de los Cinco Dominios actualizado por Mellor et al. (2020). En ese marco, recordémoslo, el bienestar no se define por la ausencia de sufrimiento, sino por la presencia activa de estados positivos. Los datos obtenidos en este estudio aportan evidencia consistente con la hipótesis de que el PRV favorece la expresión de comportamientos asociados a estados afectivos positivos. La consistencia direccional de los diez descriptores positivos —incluidos los dos que no alcanzaron significancia tras la corrección por comparaciones múltiples— hace poco plausible la hipótesis de un sesgo del observador del tipo descrito por Tuyttens et al. (2014). Hallazgos en el mismo sentido reportan Crump et al. (2019, 2021), quienes documentaron que el acceso al pastoreo mejora los indicadores conductuales de bienestar en vacas lecheras, y Cooke et al. (2023), que compararon ganado de carne entre confinamiento y pastoreo. La validación específica del QBA para vacas en pastoreo, hecha por Aubé et al. (2022, 2025), respalda metodológicamente su uso en las condiciones de este estudio.

Una explicación complementaria al patrón conductual viene de los trabajos de Charlton y Rutter (2017) y Orihuela (2021), quienes mostraron que las condiciones del entorno y la forma como se planifica la rotación cambian de manera notable el repertorio comportamental del ganado. En un sistema como el PRV, donde la ocupación es de un día y las franjas son pequeñas, el frente de pastoreo avanza de forma prácticamente simultánea para todo el grupo, lo que reduce las oportunidades de que la jerarquía social establezca un acceso diferencial al recurso forrajero (Anzai e Hirata, 2021). El menor coeficiente de variación intragrupo bajo PRV (6,67% frente a 10,33% en convencional) es compatible con ese mecanismo y ofrece una hipótesis parsimoniosa: el diseño operativo del PRV no solo eleva la respuesta media del rebaño, sino que la vuelve más homogénea. Confirmarlo exigiría seguimiento individual del comportamiento con tecnologías de monitoreo continuo como las que revisan Aquilani et al. (2022) y Hlimi et al. (2024) en sus panoramas de ganadería de precisión aplicada al pastoreo.

Ese mismo diseño operativo admite una lectura en sentido contrario que conviene explicitar. El PRV concentra al lote en franjas de 0,133 ha durante

Vol 30 No. 2 e-872 julio - diciembre 2026.
DOI: https://doi.org/10.22579/20112629.872

ORINOQUIA

un solo día, lo que eleva de manera considerable la densidad instantánea de animales por unidad de superficie respecto de los subpotreros de 1,33 ha del sistema convencional. La literatura sobre comportamiento social en bovinos advierte que el aumento de la densidad instantánea puede intensificar las interacciones agonísticas y desplazar a los individuos subordinados del frente de pastoreo, con consecuencias sobre su acceso al forraje y sobre su carga de estrés (Orihuela, 2021; Verdon, 2023). Yu et al. (2024) documentaron que la presión de pastoreo modifica tanto el consumo como el presupuesto conductual del ganado, y Mannion et al. (2022) señalan que las diferencias individuales de temperamento condicionan la respuesta ante ese tipo de restricción. El presente estudio no permite dirimir la cuestión: el registro conductual fue grupal y no individual, se limitó a descriptores de valencia positiva y se realizó en dos franjas horarias diurnas que no cubren los picos de pastoreo, condiciones bajo las cuales un eventual estrés de dominancia en los subordinados difícilmente resultaría detectable. El menor coeficiente de variación intragrupo bajo PRV (6,67% frente a 10,33%) es compatible con un acceso más homogéneo al recurso, pero constituye evidencia indirecta y no sustituye el seguimiento individual del comportamiento agonístico ni la medición de indicadores fisiológicos de estrés. Verificar si la mayor densidad instantánea del PRV penaliza a los animales de rango bajo es una pregunta abierta que este diseño deja sin resolver.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados obtenidos tienen implicaciones relevantes para los sistemas de producción bovina del piedemonte llanero. El sistema convencional, con cuatro subpotreros y ocupación de 7 días, demanda poca inversión inicial y una carga de manejo modesta, pero los resultados observados en este estudio indican una GDP 29% menor, una menor ganancia de condición corporal durante el levante y puntuaciones inferiores en los indicadores de comportamiento positivo. El PRV, en cambio, exige una inversión inicial mayor en infraestructura (cordón eléctrico móvil, divisiones más densas, sistema fotovoltaico) y mayor disciplina en la toma diaria de decisiones, pero entrega un retorno productivo claro: 21,1 kg adicionales de peso vivo por animal y 0,35 unidades adicionales de CC durante el periodo evaluado. El estudio no registró los costos de infraestructura, insumos ni mano de obra asociados a cada sistema, y no incluyó una evaluación económica formal. En consecuencia, no es posible estimar el periodo de retorno de la inversión ni afirmar que el PRV resulte económicamente ventajoso bajo las condiciones evaluadas: la respuesta productiva documentada es un insumo necesario para ese análisis, pero no lo sustituye. Establecer la conveniencia económica del sistema exige un ejercicio específico de costeo y valoración financiera que queda fuera del alcance de este trabajo.

Conviene explicitar las limitaciones del estudio. La primera es el número de unidades experimentales: dos lotes por tratamiento otorgan al contraste al nivel del lote dos grados de libertad y, en consecuencia, baja potencia estadística y estimaciones de varianza inestables. Esa limitación explica que algunos contrastes cambien de conclusión entre el nivel del lote y el nivel del animal individual —como ocurrió con la CC inicial y con el △ CC— y obliga a leer los resultados de condición corporal con cautela. La segunda es el desbalance de línea base detectado en la CC inicial al nivel del lote, que se abordó analíticamente mediante el cambio individual (△ CC), pero que no puede descartarse por completo como fuente de variación en la CC final. La tercera es que el trabajo se desarrolló en una sola finca y durante un único ciclo de 151 días, sin cubrir la época seca marcada de la región, por lo que la generalización a otros predios y a otras condiciones estacionales exige réplicas independientes. Finalmente, la evaluación cualitativa del comportamiento se realizó con un único observador; aunque el pareamiento temporal de las sesiones y la consistencia direccional de los diez descriptores reducen el riesgo de sesgo, la ausencia de un segundo evaluador impide estimar la concordancia entre observadores. A ello se suman tres restricciones en el alcance de las variables medidas. La disponibilidad forrajera se estimó por

el método de rendimiento comparativo al nivel del tratamiento y no del lote, de modo que esas variables no admiten un contraste al nivel de la unidad experimental; tampoco se realizaron análisis bromatológicos, por lo que la calidad nutricional del forraje y su contribución a la respuesta animal no fueron determinadas. El consumo se estimó como diferencia entre masa pre y pospastoreo —consumo aparente—, medida que incluye pérdidas por pisoteo y senescencia y que no equivale al consumo individual efectivo. La evaluación conductual se restringió a descriptores de valencia positiva, lo que impide estimar la carga de estados afectivos negativos y, en particular, un eventual estrés de dominancia en los individuos subordinados. Y las observaciones se concentraron en dos franjas horarias diurnas que no incluyen los picos de pastoreo del amanecer y del atardecer ni las horas nocturnas.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones evaluadas —praderas establecidas de *Urochloa humidicola subsp. dictyoneura* sobre oxisoles del piedemonte llanero, un ciclo de 151 días y dos lotes por tratamiento—, los bovinos de levante manejados bajo pastoreo racional Voisin registraron una ganancia diaria de peso de 624 ± 42 g/animal/día frente a 484 ± 50 g/animal/día del sistema convencional (Δ= +140 g/día; p= 0,039 al nivel de la unidad experimental), con una carga animal estadísticamente equivalente entre sistemas.

La estimación de la disponibilidad forrajera documentó bajo PRV una masa disponible prepastoreo 37,5% mayor, un consumo aparente 66,0% superior y una eficiencia de cosecha de 54,0% frente a 45,0%, con un forraje residual equivalente entre sistemas: la base forrajera acompaña la diferencia productiva y ofrece una explicación plausible de su origen. Ese vínculo se enuncia, no obstante, como inferencia y no como mecanismo establecido, porque el muestreo forrajero no se resolvió al nivel del lote y no se determinó la calidad nutricional del forraje. La condición corporal y los descriptores de valencia positiva evolucionaron en la misma dirección, con un alcance más limitado: el cambio de condición corporal no alcanzó significancia al nivel de la unidad experimental y la evaluación conductual se restringió a descriptores positivos registrados en dos franjas horarias diurnas. La inferencia se circunscribe a las condiciones del ensayo —una finca, un ciclo y dos lotes por tratamiento— y su verificación exige réplicas independientes en más predios y ciclos.

Recomendaciones

Al productor interesado en implementar el sistema le conviene empezar con áreas piloto de 5 a 10 hectáreas, usando divisiones móviles que le permitan ajustar el número de potreros conforme entienda la dinámica de rebrote y la curva forrajera de su finca. La inversión inicial en cordón eléctrico, sistema fotovoltaico y bebederos móviles debe evaluarse de acuerdo con las condiciones particulares de cada explotación. Este trabajo no incluyó costeo ni valoración financiera, de modo que la decisión de adopción debe apoyarse en un análisis económico propio que contemple infraestructura, mano de obra y horizonte de amortización.

En el día a día del predio, conviene incorporar la evaluación periódica de la condición corporal —al menos cada 60 días— como herramienta complementaria al pesaje y, cuando sea viable, aplicar el protocolo QBA —con descriptores de valencia positiva y negativa— por lo menos una vez por ciclo estacional para monitorear el estado afectivo del rebaño. Ninguno de los dos instrumentos exige equipamiento especializado, y ambos se acomodan bien a la operación cotidiana de la finca.

De cara a futuras investigaciones, el camino natural pasa por ampliar el diseño a estudios multifinca con réplicas independientes, e incorporar mediciones de respuesta productiva en fases posteriores al levante —ceba y faena— para verificar hasta dónde llega el efecto del PRV a lo largo de toda la cadena. Resulta igualmente necesario aumentar el número de unidades experimentales por

Vol 30 No. 2 e-872 julio - diciembre 2026.
DOI: https://doi.org/10.22579/20112629.872
ORINOQUIA

tratamiento, de modo que la inferencia no quede limitada por los grados de libertad disponibles; complementar la estimación de biomasa con análisis bromatológicos y resolver el muestreo forrajero al nivel del lote, de modo que la oferta y la calidad del forraje admitan un contraste al nivel de la unidad experimental; aplicar el protocolo QBA completo, con descriptores de valencia positiva y negativa; ampliar las ventanas de observación a los picos de pastoreo del amanecer y del atardecer, y complementar el registro conductual con indicadores fisiológicos de estrés y con seguimiento individual de las interacciones agonísticas, que permitiría evaluar el efecto de la mayor densidad instantánea del PRV sobre los animales subordinados.

Para los procesos de formación técnica y tecnológica del SENA, los resultados aportan material aplicado para incluir el PRV en los programas de formación de enfoque sostenible, presentándolo con las salvedades metodológicas aquí señaladas. La enseñanza debería poner el acento en el manejo del tiempo de descanso de los potreros, la planificación de la rotación, la evaluación de la condición corporal y el registro sistemático del comportamiento, entendidos como un conjunto integrado de herramientas para la gestión productiva y sostenible del predio.

REFERENCIAS

Aaser, M. F., Staahltoft, S. K., Andersen, M., Alstrup, A. K. O., Sonne, C., Bruhn, D., Frikke, J., & Pertoldi, C. (2024). Using activity measures and GNSS data from a virtual fencing system to assess habitat preference and utilisation patterns of beef cattle. *Animals, 14*(10), 1456. https://doi.org/10.3390/ani14101456

Andreasen, S. N., Wemelsfelder, F., Sandøe, P., & Forkman, B. (2013). The correlation of Qualitative Behavior Assessments with Welfare Quality® protocol outcomes in on-farm welfare assessment of dairy cattle. *Applied Animal Behaviour Science, 143*(1), 9–17. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.11.013

Anzai, H., & Hirata, M. (2021). Individual monitoring of behavior to enhance productivity and welfare of animals in small-scale intensive cattle grazing systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 5*, 694413. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.694413

Aquilani, C., Confessore, A., Bozzi, R., Sirtori, F., & Pugliese, C. (2022). Review: Precision Livestock Farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal, 16*(1), 100429. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429

Arnott, G., Ferris, C. P., & O'Connell, N. E. (2017). Welfare of dairy cows in continuously housed and pasture-based production systems. *Animal, 11*(2), 261–273. https://doi.org/10.1017/S1751731116001336

Aubé, L., Mialon, M. M., Mollaret, E., Mounier, L., Veissier, I., & de Boyer des Roches, A. (2022). Review: Assessment of dairy cow welfare at pasture: Measures available, gaps to address, and pathways to development of ad-hoc protocols. *Animal, 16*(8), 100597. https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100597

Aubé, L., Mialon, M. M., Veissier, I., & de Boyer des Roches, A. (2025). Validation of qualitative behaviour assessment for grazing dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science, 283*, 106489. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106489

Bai, Y., & Cotrufo, M. F. (2022). Grassland soil carbon sequestration: Current understanding, challenges, and solutions. *Science, 377*(6606), 603–608. https://doi.org/10.1126/science.abo2380

Banwarth, M. R., Lewis, J., Cannon, K., & McFarlane, Z. D. (2023). Survey of rancher grazing management practices in extensive rangeland production systems of the Central Coast of California. *Rangelands, 45*(6), 113–120. https://doi.org/10.1016/j.rala.2023.10.001

Barsotti, M. P., Giolo de Almeida, R., Motta Macedo, M. C., Zawada, P., Werner, J., & Dickhoefer,

U. (2024). Behavioural responses of beef cattle to different grazing systems and the influence of these responses on water productivity of livestock. *Animals, 14*(15), 2202. https://doi.org/10.3390/ani14152202

Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software, 67*(1), 1–48. https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01

Bautista-García, G., López-Ortiz, S., Murillo-Cuevas, F. D., Pérez-Hernández, P., Ortega-Jiménez, E., & López-Collado, C. J. (2022). Estudio preliminar del pastoreo racional Voisin como herramienta para mejorar las condiciones del suelo después del pastoreo extensivo. *Terra Latinoamericana, 40*, e893. https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.893

Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 57*(1), 289–300. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x

Bricarello, P. A., Longo, C., da Rocha, R. A., & Hötzel, M. J. (2023). Understanding interactions between animals, plants, and parasites to improve the management of gastrointestinal nematodes in grazing ruminants. *Pathogens, 12*(4), 531. https://doi.org/10.3390/pathogens12040531

Brown, M. B., & Forsythe, A. B. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association, 69*(346), 364–367. https://doi.org/10.1080/01621459.1974.10482955

Campbell, D. L. M., Lea, J. M., Keshavarzi, H., & Lee, C. (2019). Virtual fencing is comparable to electric tape fencing for cattle behavior and welfare. *Frontiers in Veterinary Science, 6*, 445. https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00445

Castillo, Á. R., López, O. P., Barbosa, Ó. P., Giraldo, R. A. D., Murcia, Ó. J. C., Bermúdez, M. A. V., & Cruz, D. C. (2022). *Metodologías para la evaluación de materiales forrajeros*. AGROSAVIA. https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405750

Charlton, G. L., & Rutter, S. M. (2017). The behaviour of housed dairy cattle with and without pasture access: A review. *Applied Animal Behaviour Science, 192*, 2–9. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.05.015

Chelotti, J. O., Vanrell, S. R., Galli, J. R., Giovanini, L. L., & Rufiner, H. L. (2018). A pattern recognition approach for detecting and classifying jaw movements in grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture, 145*, 83–91. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.013

Chelotti, J. O., Vanrell, S. R., Martinez Rau, L. S., Galli, J. R., Planisich, A. M., Utsumi, S. A., Milone, D. H., Giovanini, L. L., & Rufiner, H. L. (2020). An online method for estimating grazing and rumination bouts using acoustic signals in grazing cattle. *Computers and Electronics in Agriculture, 173*, 105443. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105443

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2.ª ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Cooke, A. S., Mullan, S., Morten, C., Hockenhull, J., Le Grice, P., Le Cocq, K., Lee, M. R. F., Cardenas, L. M., & Rivero, M. J. (2023). Comparison of the welfare of beef cattle in housed and grazing systems: Hormones, health, and behaviour. *Journal of Veterinary Behavior, 67*, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.jveb.2023.07.001

Costa, C. M., Difante, G. S., Costa, A. B. G., Gurgel, A. L. C., Ferreira Jr., M. A., & Santos, G. T. (2021). Grazing intensity as a management strategy in tropical grasses for beef cattle production: A meta-analysis. *Animal, 15*(4), 100192. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100192

Creamer, M., & Horback, K. (2021). Researching human–cattle interaction on rangelands: Challenges and potential solutions. *Ani-*

mals, 11(3), 725. https://doi.org/10.3390/ani11030725

Crump, A., Jenkins, K., Bethell, E. J., Ferris, C. P., & Arnott, G. (2019). Pasture access affects behavioral indicators of welfare in dairy cows. *Animals, 9*(11), 902. https://doi.org/10.3390/ani9110902

Crump, A., Jenkins, K., Bethell, E. J., Wetherill, G., & Kabboush, H. (2021). Optimism and access to pasture in dairy cows. *Scientific Reports, 11*, 4882. https://doi.org/10.1038/s41598-021-84371-x

Cruz, F., Pardo, D., Horcada, A., & Mena, Y. (2024). An assessment of sustainability of dual-purpose, dairy and beef cattle production systems in the Cundinamarca Department (Colombia) using the MESMIS framework. *Sustainability, 16*(16), 7054. https://doi.org/10.3390/su16167054

Di Grigoli, A., Di Trana, A., Alabiso, M., Maniaci, G., Giorgio, D., & Bonanno, A. (2019). Effects of grazing on behaviour, oxidative and immune status, and production of organic dairy cows. *Animals, 9*(6), 371. https://doi.org/10.3390/ani9060371

Dos Reis, B. R., Sujani, S., Fuka, D. R., Easton, Z. M., & White, R. R. (2025). Comparison of grazing animal behavior classification algorithms for use with open-source wearable sensors. *Intelligent Agricultural Technology*, 101133. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.101133

Duque, L. C., Ángel, N. T., & Burkart, S. (2022). Cattle ranching in Colombia: A monolithic industry? *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña, 12*(2), 81–106. https://doi.org/10.32991/2237-2717.2022v12i2.p81-106

Dyer, J. A., & Desjardins, R. L. (2021). Reconciling reduced red meat consumption in Canada with regenerative grazing: Implications for GHG emissions, protein supply and land use. *Atmosphere, 12*(8), 945. https://doi.org/10.3390/atmos12080945

Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T., & Webster, G. (1989). A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. Journal of Dairy Science, 72(1), 68–78. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0

Fan, S., Bryant, R., & Greer, A. (2022). Behavioural fingerprinting: Acceleration sensors for identifying changes in livestock health. J Multidisciplinary Scientific Journal 5(4), 435–454. https://doi.org/10.3390/j5040030

Fleming, P. A., Clarke, T., Wickham, S. L., Stockman, C. A., Barnes, A. L., Collins, T., & Miller, D. W. (2016). The contribution of qualitative behavioural assessment to appraisal of livestock welfare. *Animal Production Science, 56*(10), 1569–1578. https://doi.org/10.1071/AN15101

Franke, A. C., & Kotze, E. (2022). High-density grazing in southern Africa: Inspiration by nature leads to conservation? *Outlook on Agriculture, 51*(1), 67–74. https://doi.org/10.1177/00307270221075060

Fraser, M. D., Vallin, H. E., & Roberts, B. P. (2022). Animal board invited review: Grassland-based livestock farming and biodiversity. *Animal, 16*(12), 100671. https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100671

Goliński, P., Sobolewska, P., Stefańska, B., & Golińska, B. (2023). Virtual fencing technology for cattle management in the pasture feeding system: A review. *Agriculture, 13*(1), 91. https://doi.org/10.3390/agriculture13010091

Gosnell, H., Charnley, S., & Stanley, P. (2020). Climate change mitigation as a co-benefit of regenerative ranching: Insights from Australia and the United States. *Interface Focus, 10*(5), 20200027. https://doi.org/10.1098/rsfs.2020.0027

Grinnell, N. A., Hamidi, D., Komainda, M., Riesch, F., Horn, J., Traulsen, I., Palme, R., & Isselstein, J. (2025). Supporting rotational grazing systems with virtual fencing: Paddock transi-

tions, beef heifer performance, and stress response. *Animal, 19*(2), 101400. https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101400

Guyard, R., & Delagarde, R. (2025). Grazing time of dairy cows recorded using two devices based on accelerometers. *Applied Animal Behaviour Science, 283*, 106515. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2025.106515

Hall, T. J., Silcock, R. G., & Mayer, D. G. (2020). Grazing pressure and tree competition affect cattle performance and native pastures in Eucalypt woodlands of Queensland, north-eastern Australia. *Animal Production Science, 60*(7), 953–966. https://doi.org/10.1071/AN18512

Hamidi, D., Grinnell, N. A., Komainda, M., Riesch, F., Horn, J., Ammer, S., Traulsen, I., Palme, R., Hamidi, M., & Isselstein, J. (2022). Heifers don't care: No evidence of negative impact on animal welfare of growing heifers when using virtual fences. *Animal, 16*(9), 100614. https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100614

Hao, Y., & He, Z. (2019). Effects of grazing patterns on grassland biomass and soil environments in China: A meta-analysis. *PLOS ONE, 14*(4), e0215223. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215223

Haydock, K. P., & Shaw, N. H. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, 15*(76), 663–670. https://doi.org/10.1071/EA9750663

Hennig, J. D., Scasta, J. D., Beck, J. L., Hill, J. D., & Stam, B. (2025). Relationships between beef cow daily distance travelled, age, size, hide color, foraging optimization, and grazing distribution. *Livestock Science, 299*, 105764. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2025.105764

Herlin, A., Brunberg, E., Hultgren, J., Högberg, N., Rydberg, A., & Skarin, A. (2021). Animal welfare implications of digital tools for monitoring and management of cattle and sheep on pasture. *Animals, 11*(3), 829. https://doi.org/10.3390/ani11030829

Hernandez-Mendo, O., von Keyserlingk, M. A. G., Veira, D. M., & Weary, D. M. (2007). Effects of pasture on lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science, 90*(3), 1209–1214. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71608-9

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana.

Hlimi, A., El Otmani, S., Elame, F., Chentouf, M., El Halimi, R., & Chebli, Y. (2024). Application of precision technologies to characterize animal behavior: A review. *Animals, 14*(3), 416. https://doi.org/10.3390/ani14030416

Hurlbert, S. H. (1984). Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs, 54*(2), 187–211. https://doi.org/10.2307/1942661

Instituto Colombiano Agropecuario. (2024). *Censo pecuario nacional 2024*. ICA. Gobierno de Colombia. https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos

Jordon, M. W., Willis, K. J., Bürkner, P. C., & Petrokofsky, G. (2022). Rotational grazing and multispecies herbal leys increase productivity in temperate pastoral systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 337*, 108075. https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108075

Keeling, L. J., Winckler, C., Hintze, S., & Forkman, B. (2021). Towards a positive welfare protocol for cattle: A critical review of indicators and suggestion of how we might proceed. *Frontiers in Animal Science, 2*, 753080. https://doi.org/10.3389/fanim.2021.753080

Kleppel, G. S. (2020). Do differences in livestock management practices influence environmental impacts? *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4*, 141. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00141

Kumar, P., Abubakar, A. A., Verma, A. K., Umaraw, P., Adewale Ahmed, M., Mehta, N., Nizam Hayat, M., Kaka, U., & Sazili, A. Q. (2023). New insights in improving sustainability in meat production: Opportunities and challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63*(33), 11830–11858. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2096562

Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest package: Tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software, 82*(13), 1–26. https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13

Lawrence, A. B., Vigors, B., & Sandøe, P. (2019). What is so positive about positive animal welfare? A critical review of the literature. *Animals, 9*(10), 783. https://doi.org/10.3390/ani9100783

Lazic, S. E., Clarke-Williams, C. J., & Munafò, M. R. (2018). What exactly is N in cell culture and animal experiments? *PLOS Biology, 16*(4), e2005282. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2005282

Lee, C., & Campbell, D. L. M. (2021). A multi-disciplinary approach to assess the welfare impacts of a new virtual fencing technology. *Frontiers in Veterinary Science, 8*, 637709. https://doi.org/10.3389/fvets.2021.637709

Leso, L., Barbari, M., Lopes, M. A., Damasceno, F. A., Galama, P., & Kuipers, A. (2023). Free-choice pasture access for dry cows: Effects on health, behavior, and milk production. *Journal of Dairy Science, 106*(11), 7954–7964. https://doi.org/10.3168/jds.2023-23375

Mannion, P., Hanlon, A., Boyle, L., & McAloon, C. (2022). Behavioural consistency in cattle: A meta-analysis. *Applied Animal Behaviour Science, 246*, 105528. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105528

Marín-García, E. J., Chaverra-Lasso, A., & Torres-Marín, J. N. (2022). Intensive clean livestock production system with rational Voisin grazing. Case study: Bendavales farm – Versalles – Colombia. *Gestión y Ambiente, 25*(1), 102066. https://doi.org/10.15446/ga.v25n1.102066

Mee, J. F., & Boyle, L. A. (2020). Assessing whether dairy cow welfare is 'better' in pasture-based than in confinement-based management systems. *New Zealand Veterinary Journal, 68*(3), 168–177. https://doi.org/10.1080/00480169.2020.1721034

Mellor, D. J. (2016). Updating animal welfare thinking: Moving beyond the "Five Freedoms" towards "a Life Worth Living". *Animals, 6*(3), 21. https://doi.org/10.3390/ani6030021

Mellor, D. J., Beausoleil, N. J., Littlewood, K. E., McLean, A. N., McGreevy, P. D., Jones, B., & Wilkins, C. (2020). The 2020 Five Domains Model: Including human–animal interactions in assessments of animal welfare. *Animals, 10*(10), 1870. https://doi.org/10.3390/ani10101870

Mosier, S., Córdova, S. C., & Robertson, G. P. (2021). Restoring soil fertility on degraded lands to meet food, fuel, and climate security needs via perennialization. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 5*, 706142. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.706142

Neethirajan, S. (2021). Happy cow or thinking pig? WUR Wolf—Facial coding platform for measuring emotions in farm animals. *AI, 2*(3), 342–354. https://doi.org/10.3390/ai2030021

Neethirajan, S. (2022). Affective state recognition in livestock—Artificial intelligence approaches. *Animals, 12*(6), 759. https://doi.org/10.3390/ani12060759

Neethirajan, S., Reimert, I., & Kemp, B. (2021). Measuring farm animal emotions: Sensor-based approaches. *Sensors, 21*(2), 553. https://doi.org/10.3390/s21020553

Orihuela, A. (2021). Review: Management of livestock behavior to improve welfare and production. *Animal, 15*(Suppl. 1), 100290. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100290

Pacheco-Hernández, A., Martín-Bautista, C., Martínez-Vite, R. A., Bautista-Cortés, J. G., & León-Paulino, A. E. (2024). Pastoreo Racional Voisin como una herramienta para la ganadería sustentable. *Brazilian Journal of Development, 10*(1). https://doi.org/10.34117/bjdv10n1-091

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pinheiro Machado Filho, L. C., Seó, H. L. S., Daros, R. R., Enriquez-Hidalgo, D., Wendling, A. V., & Pinheiro Machado, L. C. (2021). Voisin's Rational Grazing as a sustainable alternative for livestock production. *Animals, 11*(12), 3494. https://doi.org/10.3390/ani11123494

Quiceno Cruz, A. D., & Contreras Vanegas, D. J. (2013). *Evaluación de dos sistemas de pastoreo rotacional en la producción de carne en la finca Playa Rica, Maní, Casanare* [Trabajo de grado, Universidad de La Salle]. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Zootecnia.

Ramírez-Restrepo, C. A., Vera-Infanzón, R. R., & Rao, I. M. (2023). The carbon footprint of beef production from cull cows finished on sown pastures in the savannas of the Colombian Orinoquía. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 31*(1), 1–20. https://doi.org/10.53588/alpa.310101

Ramón-Moragues, A., Carulla, P., Mínguez, C., Villagrá, A., & Estellés, F. (2021). Dairy cows activity under heat stress: A case study in Spain. *Animals, 11*(8), 2305. https://doi.org/10.3390/ani11082305

R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing (Versión 4.3.2) [Software]*. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Reyes-Silva, F., Borja, M., Condo-Plaza, L., & Marini, P. R. (2022). Voisin rational grazing: An agroecological alternative to achieve sustainable livestock in Ecuador. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M., 2*(2), 104–112. https://doi.org/10.18502/espoch.v2i2.11187

Rincón, A., Flórez, H., Ballesteros, H., & León, L. M. (2018). Efecto de la fertilización en la producción de forraje de Brachiaria humidicola cv. Llanero asociada con Pueraria phaseoloides en suelos del Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales, 6*(2), 158–168. https://doi.org/10.17138/TGFT(6)158-168

Ripamonti, A., Foggi, G., Mantino, A., Turini, L., Goracci, J., Silvi, A., Finocchi, M., & Mele, M. (2025). Beef cattle performance and hair cortisol accumulation in silvopastoral and pastoral systems: A 2-year assessment. *Animal, 19*(3), 101430. https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101430

Ripamonti, A., Mantino, A., Annecchini, F., Cappucci, A., Casarosa, L., Turini, L., Foggi, G., & Mele, M. (2023). Results of a comparison between pastoral and silvopastoral management on beef cattle productivity, animal welfare, and forage characteristics. Italian *Journal of Animal Science, 22*(1), 989–1003. https://doi.org/10.1080/1828051X.2023.2260451

Rivero, M. J., Lee, M. R. F., & Hatcher, S. (2022). A perspective on animal welfare of grazing ruminants and its relationship with sustainability. *Animal Production Science, 62*(18), 1739–1748. https://doi.org/10.1071/AN21516

Romero, M. H., Barrero-Melendro, J., & Sanchez, J. A. (2023). Study of the feasibility of proposed measures to assess animal welfare for zebu beef farms within pasture-based systems under tropical conditions. *Animals, 13*(23), 3659. https://doi.org/10.3390/ani13233659

Roncallo, F., Murillo, S. J., Rodríguez, G., Bonilla, R., & Garrido, M. F. (2012). Producción de forraje y respuesta animal en suelos del valle del Cesar en proceso de recuperación. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 13*(1), 89–96. https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num1_art:244

Schillings, J., Bennett, R., & Rose, D. C. (2021). Exploring the potential of precision livestock farming technologies to contribute to farm animal welfare. *Frontiers in Animal Science, 2*, 639678. https://doi.org/10.3389/fanim.2021.639678

Schütz, K. E., Rogers, A. R., Poulouin, Y. A., Cox, N. R., & Tucker, C. B. (2010). The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of Dairy Science, 93*(1), 125–133. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2416

Silva, S. R., Araujo, J. P., Guedes, C., Silva, F., Almeida, M., & Cerqueira, J. L. (2021). Precision technologies to address dairy cattle welfare: Focus on lameness, mastitis and body condition. *Animals, 11*(8), 2253. https://doi.org/10.3390/ani11082253

Silva, W. C., Silva, J. A. R., Camargo-Júnior, R. N. C., Silva, É. B. R., Santos, M. R. P., Viana, R. B., Silva, A. G. M., Silva, E. M. N., & Lourenço-Júnior, J. B. (2023). Animal welfare and effects of per-female stress on male and cattle reproduction—A review. *Frontiers in Veterinary Science, 10*, 1083469. https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1083469

Spigarelli, C., Zuliani, A., Battini, M., Mattiello, S., & Bovolenta, S. (2020). Welfare assessment on pasture: A review on animal-based measures for ruminants. *Animals, 10*(4), 609. https://doi.org/10.3390/ani10040609

Teague, R., & Kreuter, U. (2020). Managing grazing to restore soil health, ecosystem function, and ecosystem services. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4*, 534187. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187

Tedeschi, L. O., Greenwood, P. L., & Halachmi, I. (2021). Advancements in sensor technology and decision support intelligent tools to assist smart livestock farming. *Journal of Animal Science, 99*(2), skab038. https://doi.org/10.1093/jas/skab038

Temple, D., & Manteca, X. (2020). Animal welfare in extensive production systems is still an area of concern. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4*, 545902. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.545902

Teutscherová, N., Vázquez, E., Sotelo, M., Villegas, D., Velásquez, N., Baquero, D., Pulleman, M., & Arango, J. (2021). Intensive short-duration rotational grazing is associated with improved soil quality within one year after establishment in Colombia. *Applied Soil Ecology, 159*, 103835. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103835

Tobin, C. T., Bailey, D. W., Stephenson, M. B., Trotter, M. G., Knight, C. W., & Faist, A. M. (2022). Opportunities for monitoring animal welfare using the Five Freedoms with precision livestock management on pasture. *Frontiers in Animal Science, 3*, 928514. https://doi.org/10.3389/fanim.2022.928514

Tuyttens, F. A. M., de Graaf, S., Heerkens, J. L. T., Jacobs, L., Nalon, E., Ott, S., Stadig, L., Van Laer, E., & Ampe, B. (2014). Observer bias in animal behaviour research: Can we believe what we score, if we score what we believe? *Animal Behaviour, 90*, 273–280. https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.02.007

Tzanidakis, C., Tzamaloukas, O., Simitzis, P., & Panagakis, P. (2023). Precision livestock farming (PLF) applications for grazing animals. *Agriculture, 13*(2), 288. https://doi.org/10.3390/agriculture13020288

Uddin, M. E., & Kebreab, E. (2020). Impact of climate and food change on livestock industries. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 4*, 543403. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.543403

Vargas, A. C., Bran, J. A., Daros, R. R., Hötzel, M. J., & von Keyserlingk, M. A. G. (2023). Behavioural and physiological measures of welfare of dairy cows grazing on rotational pastures. *Applied Animal Behaviour Science, 263*, 105942. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105942

Verdon, M. (2023). A review of the impact of social and physical environments on welfare of weaned replacement heifers in pasture-based dairy production systems. *Animal Production Science, 63*(8), 723–741. https://doi.org/10.1071/AN22248

Verdon, M., Langworthy, A., & Rawnsley, R. (2021). Virtual fencing technology to intensively graze lactating dairy cattle. II: Effects on cow welfare and behavior. *Journal of Dairy Science, 104*(6), 7084–7094. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19797

Vigors, B., & Lawrence, A. (2019). What are the positives? Exploring positive welfare indicators in a qualitative interview study with livestock farmers. *Animals, 9*(9), 694. https://doi.org/10.3390/ani9090694

Voisin, A. (1959). Productivité de l'herbe (1.ª ed.). Flammarion.

Wagner, K., Brinkmann, J., March, S., Hinterstoißer, P., Warnecke, S., Schüler, M., & Paulsen, H. M. (2018). Impact of daily grazing time on dairy cow welfare—Results of the Welfare Quality® protocol. *Animals, 8*(1), 1. https://doi.org/10.3390/ani8010001

Welfare Quality. (2009). Welfare Quality® assessment protocol for cattle. Welfare Quality Consortium.

Wemelsfelder, F., Hunter, T. E. A., Mendl, M. T., & Lawrence, A. B. (2001). Assessing the 'whole animal': A free choice profiling approach. *Animal Behaviour, 62*(2), 209–220. https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1741

Whitham, J. C., Bryant, J. L., & Miller, L. J. (2020). Beyond glucocorticoids: Integrating dehydroepiandrosterone (DHEA) into animal welfare research. *Animals, 10*(8), 1381. https://doi.org/10.3390/ani10081381

Wróbel, B., Zielewicz, W., & Staniak, M. (2023). Challenges of pasture feeding systems—Opportunities and constraints. *Agriculture, 13*(5), 974. https://doi.org/10.3390/agriculture13050974

Yu, T., Yan, R., Zhang, C., Chen, S., Zhang, Z., Guo, L., Hu, T., Jiang, C., Wang, M., Bai, K., Zhou, W., & Wu, L. (2024). How does grazing pressure affect feed intake and behavior of livestock in a meadow steppe in northern China and their coupling relationships? *Frontiers in Plant Science, 15*, 1361305. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1361305