https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2026.e2802876 e-ISSN: 2305-0683 ISSN: 1684-9086

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Desempeño productivo y crecimiento compensatorio de bovinos destetados con y sin suplementación invernal

Productive performance and compensatory growth of weaned cattle with and without winter supplementation

Osvaldo Javier Sánchez Holt[1]*, Diego Avilio Ocampos Olmedo[2] y Pedro Luis Paniagua Alcaráz[2]

[1]Universidad Nacional de Caaguazú, Facultad Ciencias de la Producción, Coronel Oviedo, Paraguay.
[2]Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Área de Producción Animal. San Lorenzo, Paraguay.

***Autor para correspondencia:**
osvaldo.sanchez@fcpunk.edu.py

Conflictos de interés:
No existe ningún tipo de conflicto a declarar

Contribución de autores:
Todos los autores realizaron contribuciones sustanciales a la concepción y diseño de este estudio, al análisis e interpretación de los datos, revisión del manuscrito y aprobación de la versión final. Todos los autores asumen la responsabilidad del contenido del manuscrito.

Financiamiento:
Ninguna.

Historial:
Recibido: 03-12-2025;
Aceptado: 24-06-2026;
Publicado: 18-11-2026.

Disponibilidad de datos:
Todo el conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio está disponible mediante solicitud al autor de correspondencia. El conjunto de datos no está públicamente disponible debido a acuerdos de confidencialidad con el propietario del establecimiento.

Editor responsable:
Arnaldo Esquivel-Fariña
Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias. San Lorenzo, Paraguay.

Comentarios de revisión:
El presente artículo ha sido evaluado mediante un proceso de revisión por pares en modalidad de doble ciego. Los informes de revisión, en línea con la política de transparencia editorial, se encuentran disponibles en: https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/876/739

License:
Article published in open access under a Creative Commons CC-BY 4.0 license.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el desempeño productivo y crecimiento compensatorio en bovinos destetados con y sin suplementación invernal, se realizó un estudio de julio a diciembre del 2021, en Coronel Oviedo, Paraguay. Se utilizaron 38 animales de biotipo indefinido de 159±15 kg, en un diseño completamente al azar con dos tratamientos y 19 repeticiones: T0, pastoreo sin suplementación; y T1, pastoreo con suplementación al 0,7% del peso vivo (PV). El estudio comprendió una fase invernal de restricción/suplementación (85 días) y una estival de realimentación (69 días) a pastoreo exclusivo conjunto. Se evaluaron parámetros forrajeros, variables morfológicas, ganancia diaria de peso y tasas compensatorias. Los datos de desempeño animal fueron analizados por la prueba t de Student, mientras que los parámetros forrajeros con estadística descriptiva. Durante el invierno el forraje presentó disponibilidad aceptable (6 a 7 kg materia seca (MS) 100 kg PV^{-1} $día^{-1}$) pero con calidad crítica (proteína bruta<4%; fibra detergente neutra>70%), mejorando en el periodo estival en disponibilidad (>16 kg MS 100 kg PV^{-1} $día^{-1}$) y calidad (proteína bruta>7%; fibra detergente neutra<70%). El T1 fue superior (p<0,05) en las variables morfológicas en ambos periodos, así también en la ganancia diaria de peso en invierno (0,61 kg $día^{-1}$ sobre 0,1 kg $día^{-1}$) mientras que en periodo estival fue superior el T0 (0,41 kg $día^{-1}$ sobre 0,33 kg $día^{-1}$), a pesar de evidenciarse crecimiento compensatorio en T0 (12,15%), este fue insuficiente para igualar la ventaja obtenida por T1 en invierno. La suplementación invernal al 0,7% del peso vivo es una estrategia eficiente para optimizar el desarrollo continuo, ya que la ganancia compensatoria estival sobre pasturas cultivadas es insuficiente para equiparar las pérdidas en periodo crítico.

Palabras clave: ganancia compensatoria, parámetros forrajeros, periodo invernal, suplementación estratégica.

ABSTRACT

With the objective of evaluating productive performance and compensatory growth in weaned cattle with and without winter supplementation, a study was conducted from July to December 2021 in Coronel Oviedo, Paraguay. Thirty-eight animals of undefined biotype weighing 159±15 kg were used, in a completely randomized design with two treatments and 19 replicates: T0, grazing without supplementation; and T1, grazing with supplementation at 0.7% of live weight (LW). The study comprised a winter restriction/supplementation phase (85 days) and a summer realimentation phase (69 days) under exclusive joint grazing. Forage parameters, morphological variables, average daily gain, and compensatory rates were evaluated. Animal performance data were analyzed using Student's t-test, while forage parameters were analyzed using descriptive statistics. During winter, forage showed acceptable availability (6 to 7 kg dry matter (DM) 100 kg LW^{-1} day^{-1}) but critical quality (crude protein <4%; neutral detergent fiber >70%), improving during the summer period in both availability

 Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons

(>16 kg DM 100 kg LW-¹ day-¹) and quality (crude protein >7%; neutral detergent fiber <70%). T1 was superior (p<0.05) in morphological variables in both periods, as well as in average daily gain during winter (0.61 kg day-¹ versus 0.1 kg day-¹), while T0 was superior during the summer period (0.41 kg day-¹ versus 0.33 kg day-¹). Despite evidence of compensatory growth in T0 (12.15%), this was insufficient to match the advantage obtained by T1 in winter. Winter supplementation at 0.7% of live weight is an efficient strategy for optimizing continuous development, since summer compensatory gain on cultivated pastures is insufficient to offset losses during the critical period.

Keywords: compensatory gain, forage parameters, winter period, strategic supplementation.

INTRODUCCIÓN

La ganadería paraguaya se caracteriza por la producción de carne sobre pastizales nativos o introducidos, sistemas que enfrentan marcadas fluctuaciones estacionales en la oferta de biomasa forrajera entre los periodos estival e invernal. Este último está condicionado por el descenso de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones. El invierno constituye la etapa más crítica debido al fotoperiodo corto y déficit hídrico, factores que reducen drásticamente la tasa de crecimiento y la calidad del forraje. En consecuencia, la acumulación de forraje remanente experimenta un marcado proceso de maduración fenológica y lignificación, lo que se traduce en un incremento sustancial de los componentes estructurales de la fibra y una menor digestibilidad (Ávalos y Flores, 2015; Mongelós Barrios, Valdez Ocampo, Huerta Maciel, López Ávalos y Fernández Sánchez, 2024; González, Ortiz, Gomez, Samudio y Nakayama, 2024).

Debido a esta marcada estacionalidad climática y al consecuente deterioro cuali-cuantitativo del forraje en invierno, los aportes de la pastura resultan insuficientes para cubrir los requerimientos nutricionales basales de los animales. Este déficit introduce un estado de restricción alimenticia, escenario donde el consumo de nutrientes se ubica por debajo de los mínimos de mantenimiento, comprometiendo los parámetros de desarrollo estructural y deteniendo la ganancia de peso (Keady et al., 2021; Wang, Shen, Zhao, Hanigan y Li, 2024). Para mitigar este déficit nutricional y sostener o incrementar el peso vivo en este contexto, se requiere implementar estrategias de suplementación con concentrados proteico-energéticos (Hoffmann et al., 2014), no obstante, si bien esta práctica corrige el desbalance metabólico, representa uno de los costos más elevados dentro de la estructura financiera de la empresa ganadera (Montossi y Soares de Lima, 2020).

Estudios señalan a la ganancia compensatoria como una alternativa a considerar entre las prácticas de manejo, que se basa en la premisa que los animales con restricción de alimento en periodo invernal, en el periodo estival siguiente recuperan la diferencia de peso perdida en relación a los animales suplementados (Clariget et al., 2025). Se ha reportado que la reducción de la necesidad energética por efecto de la restricción es la que permite un mayor aprovechamiento del periodo de abundancia (Dixon, 2011). Fisiológicamente, la restricción nutricional se define como una condición en la cual la ingesta de energía y nutrientes resulta insuficiente para satisfacer los requerimientos de mantenimiento y crecimiento del animal. Como mecanismo de adaptación a este déficit, se produce una reducción en la masa de órganos con alta demanda metabólica, principalmente el tracto gastrointestinal, el hígado y el corazón, lo que conlleva a una disminución significativa de los requerimientos energéticos basales (Sainz y Bentley, 1997). Esta adecuación metabólica persiste una vez superado el estrés nutricional; en consecuencia, durante la fase posterior de abundancia forrajera, los animales presentan menores gastos de mantenimiento, lo que facilita una ganancia de peso vivo más acelerada y eficiente frente a aquellos que no experimentaron restricción (Jennings, 2014).

El crecimiento compensatorio podría ser considerado como un método de manejo a ser implementado por los productores, para reducir costos de suplementación en periodo de recurrente baja disponibilidad y calidad forrajera. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar comparativamente el desempeño productivo y el crecimiento compensatorio en bovinos destetados con y sin suplementación invernal, a fin de proporcionar información útil para las estrategias de manejo implementadas en ganadería sobre pastizales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la empresa ganadera Escandriolo Peña ubicado en la compañía San Antonio, Distrito de Coronel Oviedo, Departamento de Caaguazú, Paraguay, con latitud 25°25’57,74’’ S y longitud 56°16’15,41’’ O. El periodo experimental se extendió desde la primera quincena del mes de julio del 2021, coincidiendo con el inicio de la escasez forrajera estacional, hasta la primera quincena de diciembre del mismo año. Las condiciones climáticas registradas durante el desarrollo del estudio se presentan en la Figura 1.

La población experimental estuvo constituida por 38 animales de biotipo indefinido, nacidos en el predio con un peso vivo promedio de 159±15 kg, y una edad comprendida de 10 a 12 meses. Todos los animales fueron identificados mediante caravanas plásticas numeradas. Se empleó un diseño completamente al azar; para ello, se seleccionaron animales homogéneos en cuanto a peso, edad y condición sanitaria, los cuales fueron asignados de manera aleatoria a los dos tratamientos evaluados

(19 repeticiones por tratamientos). Cada animal constituyó una unidad experimental de forma individual. Para garantizar la homogeneidad sanitaria, los animales fueron sometidos a una revisión clínica inicial. Se aplicó un protocolo estandarizado del establecimiento de desparasitación bimensual que incluyó cipermetrina pour-on (6 g, 10 mL animal-¹) para ectoparásitos e ivermectina al 1% (1 mL 50 kg-¹ PV) para endoparásitos.

La investigación se estructuró en dos fases secuenciales: invernal y estival, durante el periodo invernal (85 días), los animales de ambos tratamientos fueron alojados en potreros independientes de 9 has cada uno, sobre pasturas de *Urochloa brizantha* cv. Marandú con cuatro años de implantación, estableciendo una carga animal inicial en ambos potreros con 2,1 cabezas ha-¹ Con el fin de mitigar las variaciones ambientales y fijar al animal como la unidad experimental, ambos piquetes presentaron condiciones homogéneas en cuanto a topografía, oferta forrajera y calidad bromatológica (Figura 2 y Tabla 1). En ambos potreros se dispuso de provisión constante de agua mediante tajamar y acceso ad libitum a mezcla mineral en saleros. Para el tratamiento con suplementación (T1), el potrero contó adicionalmente con 19 comederos individuales elaborados a partir de tambores plásticos de 200 litros cortados longitudinalmente, este lote recibió un concentrado proteico-energético (PC 18%, EM 2,9 Mcal kg-¹ MS, FB 10%, Ca 1,2 y P 0,7) a razón del 0,7% del peso vivo, ajustándose el suministro de forma periódica de acuerdo a las evaluaciones de peso. El alimento fue suministrado diariamente en horario matutino (09:00hs).

Para el periodo estival (fase de realimentación, con una duración de 69 días), ambos lotes de animales fueron unificados y manejados de forma conjunta bajo un esquema de pastoreo alternado con una frecuencia bisemanal entre dos potreros contiguos. Ambos piquetes de 8 hectáreas cada una compartían la misma especie forrajera (*U. brizantha* cv. Marandú), igual edad de implantación (2 años) e igual historial de manejo. Si bien se registró ligeras variaciones de disponibilidad entre potreros, en todo momento se garantizó una oferta forrajera óptima para el consumo voluntario, manteniéndose superior a los 15 kg MS 100 kg PV-¹ día-¹ (Euclides, Cardoso, Macedo y Oliveira, 2000; Figura 2).

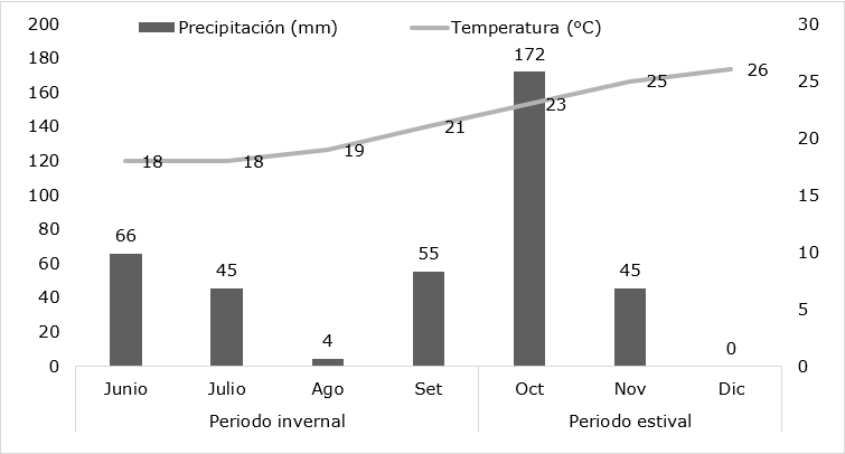
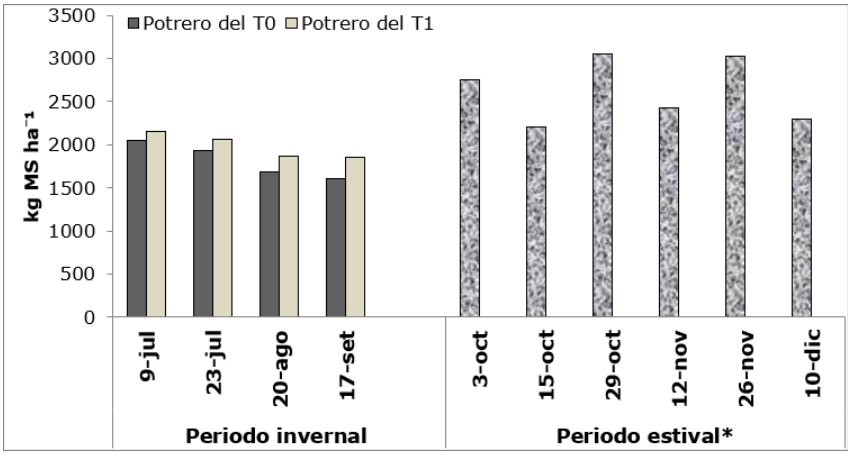


Figura 1. Precipitación y temperatura promedio mensual durante el periodo experimental, San Antonio, Coronel Oviedo, Paraguay,2021.



*se utilizaron dos potreros con rotaciones bisemanales manteniéndose ambos lotes juntos

Figura 2. Disponibilidad forrajera durante el periodo experimental, San Antonio, Coronel Oviedo, Paraguay,2021.

Variables de medición

Parámetros forrajeros: Fueron determinados a través de cuadrículas de 0,25 m^2: 9 muestras, pesadas y promediadas por potrero (Zanella, Carvalho, Ribeiro, Madeiro y dos Santos Gomes, 2017) y calculando la materia seca mediante el método microondas, para luego, realizar las inferencias por hectárea (kg MS ha-¹). Con este valor se calculó también la disponibilidad de materia seca por cada 100 kg de peso vivo del animal por día (kg MS 100 kg PV-¹ día-¹) (Hodgson, 1990). La disponibilidad forrajera se evaluó con un monitoreo inicial bisemanal y posteriormente con una periodicidad mensual en invierno. En fase estival, la frecuencia fue bisemanal, sincronizándose con el esquema de pastoreo alternado para este periodo. Para evaluar la calidad, el material vegetal fue colectado a nivel del suelo (10 cm), pesado y deshidratado (65 ºC) y analizado en función a proteína cruda, fibra en detergente neutro y Acida, calcio y fósforo, con mediciones al inicio y mitad del periodo invernal y al medio y final del periodo estival (Horwitz y Latimer, 2005).

Parámetros morfológicos: al inicio, (día 0), medio (día 85) y al finalizar la investigación (día 154), se midió la altura a la cruz (AC) como la distancia entre el suelo y la porción más sobresaliente de los cartílagos de la escápula; el largo corporal (LC) como la distancia entre la articulación escápulo-humeral y la articulación coxo-femoral, la alzada de la grupa (AA) como la distancia desde el punto más alto de la grupa (hueso sacro) hasta el suelo y el ancho de anca que es la separación entre las puntas de la cadera (A. An) (Freneau, Cardoso da Silva, Rey Borjas, y Amorim, 2008).

Ganancia diaria de peso (GDP): Se obtuvo por medio del cociente entre la ganancia de peso del periodo y el número de días de transcurridos en dicho periodo. Se expresa en g día-¹. Las evaluaciones de peso se realizaron al inicio medio y final de la investigación coincidiendo con las mediciones morfológicas

Tasas compensatorias: El cálculo se realizó mediante la fórmula ((A-B)/A). A= diferencia entre el peso (o parámetro morfológico) de los animales no restringidos y los restringidos al finalizar el periodo invernal y B= diferencia entre el peso (o parámetro morfológico) de los animales no restringidos y los restringidos al finalizar el periodo de estival (Hornick, Van Eenaeme, Gérard, Dufrasne y Istasse, 2000).

Análisis estadístico

Los parámetros forrajeros se analizaron mediante estadística descriptiva al representar valores compuestos por potrero orientados a la caracterización ambiental. Para las variables morfológicas y la ganancia diaria de peso vivo, se utilizó en software estadístico InfoStat versión 2020, aplicando la prueba t de Student para muestras independientes con un nivel de significancia del 5% ($P<0,05$), previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante los test de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo invernal, la disponibilidad de forraje se mantuvo similar al inicio en ambos tratamientos, registrándose una tasa de reducción más acentuada en el potrero de T0. En T1, la provisión de suplemento mitigó la intensidad de uso de la pastura, comportamiento atribuido al efecto de sustitución. La oferta forrajera registrada durante esta fase fue de 6 a 7 kg MS 100 kg PV-¹ día-¹, situándose dentro del rango crítico de requerimiento biológico estipulado por National Research Council [NRC] (2016); se constató que la biomasa disponible tenía potencial suficiente para cubrir el llenado ruminal (Freneau et al., 2008), evidenciando que la oferta forrajera no actuó como un factor limitante desde el punto de vista de la disponibilidad. Sin embargo, resulta indispensable considerar el aspecto cualitativo del forraje, el cual representa frecuentemente el principal factor de restricción severa durante esta época del año.

Por su parte, durante el periodo estival, bajo el sistema de pastoreo alternado conjunto, la disponibilidad forrajera se mantuvo estable en ambos potreros utilizados, registrándose valores de entre 16 a 21 kg MS 100 kg PV-¹ día-¹. De acuerdo con Da Trindade et al. (2016), este nivel de oferta cuantitativa establece condiciones de alimentación no restrictivas para el consumo voluntario, lo que determinó un escenario nutricional favorable para la obtención de ganancias diarias de peso vivo elevadas durante la fase de realimentación.

Durante el periodo invernal, el forraje ofrecido en los potreros T0 y T1 presentó características que podrían limitar su valor nutritivo. Los niveles de proteína bruta (PB) se encontraron por debajo del 7% y a mitad del periodo por debajo del 4%, lo cual se considera muy deficitario para cubrir los requerimientos del ganado (Van Soest, 1994). Además, los altos valores de FDA y FDN (NRC, 2016), podrían reducir la palatabilidad y digestibilidad. Igualmente, los niveles de CA y P estuvieron por debajo de lo recomendado (Valadares Filho et al., 2016).

En contraste, durante el periodo estival, se observó una mejora en la calidad del forraje. Los valores de PB aumentaron a niveles más adecuados, alcanzando hasta 7,29% en el periodo estival (Lazzarini et al., 2009). Además, los niveles de FDN y FDA disminuyeron, lo que sugiere una mayor digestibilidad y mejor valor nutritivo, los minerales también se mantuvieron dentro de los rangos recomendados (NRC, 2016). Sin embargo, es importante destacar una disminución en la calidad del forraje al finalizar el experimento, factor que podría haber limitado las expresiones compensatorias.

Tabla 1. Valores bromatológicos del forraje durante el periodo experimental, San Antonio, Coronel Oviedo, Paraguay, 2021.

	PB (%)		FDN (%)		FDA (%)		Ca (%)		P (%)	
	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1	T0	T1
Evaluaciones en periodo invernal										
9-jul	6	6,3	68,31	69,68	38,61	38,1	0,411	0,339	0,135	0,238
20-ago	3,21	2,9	72,1	79,31	43,16	48,46	0,365	0,29	0,069	0,051
Evaluaciones en periodo estival*										
5-nov	7,29		62,81		31,53		0,342		0,163	
10-dic	5,25		68,07		37,03		0,339		0,118	

* Durante el periodo estival, los valores forrajeros corresponden a la evaluación del área de pastoreo conjunto, dado que los animales de ambos tratamientos (T0 y T1) fueron unificados y evaluados bajo las mismas condiciones ambientales.

Tabla 2. Comparación de medidas morfométricas entre animales en pastura sin suplementación invernal (T0) y animales en pastura con suplementación invernal (T1) en ambos periodos.

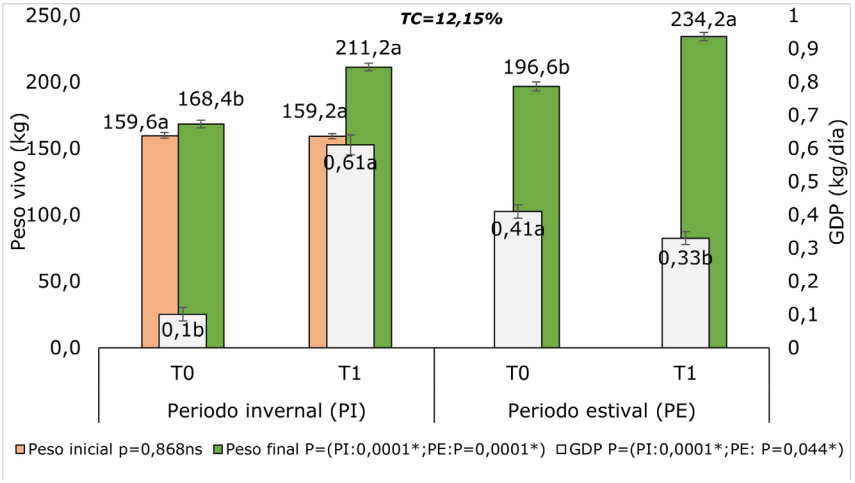
		Variables evaluadas			
Fase		**AC (cm)**	**AA (cm)**	**LC (cm)**	**AnA (cm)**
Mediciones iniciales	**T0**	106,6±1,4 [a]	113,3±1,3 [a]	94,1±0,6 [a]	31,3±0,5 [a]
	T1	107,5±1,6 [a]	115,5±1,6 [a]	92,6±0,8 [a]	31,1±0,3 [a]
	P-valor	***0,6599[ns]***	***0,2895[ns]***	***0,1727[ns]***	***0,7203[ns]***
Término del Periodo invernal	**T0**	110,0±1,2 [b]	116,5±1,2 [b]	94,4±0,7 [b]	30,5±0,3 [b]
	T1	119,3±1,4 [a]	126,8±1,2 [a]	98,2±0,5 [a]	33,7±0,3 [a]
	P-valor	***<0,0001****	***<0,0001****	***<0,0001****	***<0,0001****
Término del periodo estival	**T0**	126,0±1,5 [b]	132,4±1,4 [b]	101,7±1,0 [b]	33,2±0,4 [b]
	T1	132,2±1,1 [a]	139,7±1,1 [a]	106,2±0,9 [a]	36,0±0,4 [a]
	P-valor	***0,0021****	***0,0002****	***0,0022****	***<0,0001****
Tasa compensatoria%		**33,3**	**29,1**	**-18,4**	**12,5**

Altura de cruz (AC), altura de anca (AA), largo corporal (LC), ancho de anca (An.A). *Con diferencia estadística significativa (p<0,05); ns: sin diferencias estadísticas. Letras diferentes en filas son significativamente diferentes de acuerdo a la prueba t de Student.

Como se aprecia en la Tabla 2, las variables morfológicas respondieron favorablemente a la suplementación invernal, resultando estadísticamente superior el T1 durante ambos periodos evaluados. Al analizar la dinámica compensatoria estival en los animales no suplementados (T0), se observó una leve recuperación en la altura a la cruz y al anca; sin embargo, se notó un efecto adverso en el largo corporal. En general, estas respuestas presentaron una recuperación insuficiente para igualar las medidas morfométricas del lote suplementado. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Keady et al. (2021), quienes advierten que, aunque las restricciones alimenticias originan mecanismos de crecimiento compensatorio, en condiciones prácticas este proceso suele presentarse de forma incompleta o parcial.

Esta incapacidad para alcanzar el desarrollo adulto normal halla su explicación biológica en la severidad del déficit atravesado durante la fase invernal. El contexto forrajero descrito para esta etapa (Tabal 1), dominado por el bajo aporte proteico y un alto componente estructural, sirve como una referencia importante para la premisa de Mac Loughlin (2010), que menciona que una restricción severa en animales jóvenes compromete irreversiblemente la integridad de los tejidos metabólicamente activos. Al perderse el potencial de desarrollo durante una etapa crítica como es la fase de recría, se genera un rezago estructural que la alimentación estival no logra revertir, en coincidencia con lo reportado por Molina, Carmona y Ojeda (2007) al observar tasas de crecimiento permanentemente menores en bovinos tras atravesar restricciones severas.

En contraste con lo anterior, al evaluar la flexibilidad anatómica frente a estas fluctuaciones, resulta claro que las variables ligadas a la deposición de tejidos de madurez más tardía mostraron un repunte ante la abundancia volumétrica del verano. En abierto contraste y tal como se evidenció en los resultados iniciales, el largo corporal presentó una tasa compensatoria negativa. El crecimiento longitudinal de los huesos es un proceso de madurez temprana, en donde el destino prioritario de los nutrientes ya está pre-programado biológicamente (Lawrence, Fowler, y Novakofski, 2012). Como la restricción proteico-energética coincidió con el periodo de elongación ósea, se produjo un freno de crecimiento irreversible.



ns:sin diferencias estadísticas significativas *con diferencias estadísticas significativas **letras similares no son significativamente diferentes con la prueba t de Student. T0: Pastoreo sin suplementación invernal, T1: Suplementación invernal más pastura, TC: Tasa compensatoria.

Figura 3. Peso vivo y ganancia diaria de peso (GDP) de bovinos destetados con y sin suplementación invernal durante los periodos invernal y estival, San Antonio, Coronel Oviedo, Paraguay, 2021.

En consecuencia, las variaciones morfométricas observadas sugieren que, al establecerse la oferta forrajera estival, el crecimiento compensatorio se orientó hacia la recuperación de otros tejidos, limitando la compensación ósea y consolidando así las diferencias definitivas entre ambos tratamientos.

Al analizar la dinámica productiva reflejada en la Figura 3, se observó que durante el periodo invernal los animales suplementados (T1) mantuvieron un desempeño superior respecto al grupo no suplementado, consolidando una ventaja productiva inicial. Posteriormente, durante la etapa estival de realimentación, el grupo T0 exhibió tasas de ganancia diaria superiores, un fenómeno consistente con la respuesta esperada ante la eliminación de la restricción nutricional. No obstante, al evaluar la magnitud de dicha respuesta, se advierte que la expresión compensatoria fue limitada, situándose en un 12,15%.

En relación a la ganancia de peso y la expresión de la tasa compensatoria, el desempeño de los animales debe analizarse sobre el escenario nutricional y climático que abarcó ambas etapas del ensayo. Desde una perspectiva biológica, la literatura señala que la proteína del forraje determina gran parte del potencial de desarrollo en ganadería extensiva; cuando los niveles se encuentran por debajo del umbral crítico del 7%, se restringe la formación de tejidos y se compromete considerablemente la ganancia de peso (Oliveira Porto et al., 2009). Durante la primera etapa de la investigación (periodo invernal), las evaluaciones de la pastura (Tabla 1) se caracterizaron por valores que se enmarcan dentro de este escenario limitante, ocasionando que los animales con suplementación (T1) presentaran ganancias diarias de peso superiores en esta etapa a las del T0. Posteriormente, si bien se observó una ligera tasa compensatoria en la fase de realimentación estival, esta depende fuertemente de una mejora en calidad y disponibilidad forrajera durante todo el periodo (Keady et al., 2021; Trindade Júnior et al., 2025). Sin embargo, durante esta etapa se registró una importante reducción de precipitaciones (Figura 1), lo que sugiere un escenario de pérdida de calidad de forraje que se superpuso temporalmente con la ventana de mayor expresión teórica del crecimiento compensatorio. Como señala Modernel et al. (2019), esta variabilidad ambiental es intrínseca a los sistemas subtropicales, constituyendo un factor contextual determinante para comprender por qué los índices de ganancia de peso no lograron su máxima expresión potencial bajo estas condiciones prácticas de manejo.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones evaluadas, se concluye que la calidad nutricional del forraje durante el periodo invernal constituye la principal limitante para el desarrollo bovino, aun cuando la disponibilidad volumétrica resulte adecuada. En este contexto restrictivo, la suplementación estratégica invernal demuestra ser una estrategia determinante no solo para sostener la ganancia de peso, sino para proteger la integridad del desarrollo morfológico durante la etapa crítica de la recría.

La restricción nutricional severa impuesta a los animales no suplementados genera un detrimento estructural manifestado en la incapacidad de reanudar el crecimiento óseo (largo corporal) tras el déficit. Si bien estos animales logran expresar un crecimiento compensatorio y mayores tasas de ganancia de peso durante la fase de realimentación

estival, esta respuesta biológica resulta parcial e insuficiente para revertir el rezago productivo. En consecuencia, la ventaja zootécnica obtenida mediante la suplementación invernal se consolida de manera permanente, evidenciando la insuficiencia de depender exclusivamente del crecimiento compensatorio estival para alcanzar parámetros óptimos de desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ávalos, P., y Flores, E. (2015). Dinámica de la producción de pasto y balance forrajero de un módulo de vacas lecheras en la Sierra Central. *Anales Científicos, 76*(2), 344–349. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6171144.pdf

Clariget, J. M., Banchero, G., Saravia, A., Luzardo, S., de Souza, G., Kenny, D. A., Keogh, K., & Kelly, A. K. (2025). Optimising compensatory growth in pastoral beef production systems: insights into feed efficiency, body composition, carcass characteristics and meat quality attributes. *Animal, 19*(2), e101408. https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101408

Da Trindade, J. K., Neves, F. P., Pinto, C. E., Bremm, C., Mezzalira, J. C., Nadin, L. B., Genro, T. C. M., Gonda, H. L., & Carvalho, P. C. F. (2016). Daily forage intake by cattle on natural grassland: Response to forage allowance and sward structure. *Rangeland Ecology & Management, 69*(1), 59–67. https://doi.org/10.1016/j.rama.2015.10.002

Dixon, R. (2011). *Compensatory growth*. Queensland Alliance for Agriculture and Food Innovation. https://futurebeef.com.au/knowledge-centre/compensatory-growth/

Euclides, V. P. B., Cardoso, E. G., Macedo, M. C. M., é Oliveira, M. P. de. (2000). Consumo Voluntário de Brachiaria decumbens cv. Basilisk e Brachiaria brizantha cv. Marandu sob Pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia, 29*(6), 2200-2208. https://www.sbz.org.br/revista/artigos/2660.pdf

Freneau, G. E., Cardoso da Silva, J. C., Rey Borjas, A. L., & Amorim, C. (2008). Estudo de medidas corporais, peso vivo e condição corporal de fêmeas da raça Nelore (Bos taurus indicus) ao longo de doze meses. *Ciência Animal Brasileira, 9*(1), 76-85. https://revistas.ufg.br/vet/article/view/1362/3430

González, V., Ortiz, R., Gómez, R., Samudio, A., y Nakayama, H. (2024). Evaluación bromatológica de tres pasturas: Clavel (Hemarthria altissima), Estrellita (Cynodon nlemfuensis) y Pangola (Digitaria eriantha), Pte. Hayes – Paraguay, año 2024. *Compendio de Ciencias Veterinarias, 14*(2), 13–17. https://revistascientificas.una.py/index.php/comp/article/view/5305/4150

Hodgson, J. (1990). *Grazing management: Science into practice*. Longman Scientific & Technical.

Hoffmann, A., Bevitori Kling de Moraes, E. H., Mousquer, C. J., Simioni, T. A., Junior Gomes, F. J., Ferreira, V. B., é Silva, H. M. (2014). Produção de bovinos de corte no sistema de pasto–suplemento no período da seca. *Nativa, 2*(2), 119-130 https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/1298

Hornick, J. L., Van Eenaeme, C., Gérard, O., Dufrasne, I., y Istasse, L. (2000). Mechanisms of reduced and compensatory growth. *Domestic Animal Endocrinology, 19*(2), 121–132. https://doi.org/10.1016/S0739-7240(00)00072-2

Horwitz, W., & Latimer, G. W. (Eds.). (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (18th ed.). Gaithersburg, MD. AOAC International. https://sutlib2.sut.ac.th/sut_contents/H125800.pdf

Jennings, N. (2014). *Compensatory growth in beef cattle*. NSW, Australia. Local Land Services, NSW Government.

Keady, S. M., Keane, M. G., Waters, S. M., Wylie, A. R., O'Riordan, E. G., Keogh, K., & Kenny, D. E. (2021). Effect of dietary restriction and compensatory growth on performance, carcass characteristics, and metabolic hormone concentrations in Angus and Belgian Blue steers. *Animal, 15*(6), e100215. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100215

Lazzarini, I., Detmann, E., Sampaio, C. B., Paulino, M. F., Valadares Filho, S. C., Souza, M. A., & Oliveira, F. A. (2009). Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. *Revista Brasileira de Zootecnia, 38*(10), 2021-2030. https://www.scielo.br/j/rbz/a/F7GNGcGGqt8bG/?format=pdf&lang=en

Lawrence, T. L. J., Fowler, V. R., & Novakofski, J. E. (2012). *Growth of farm animals* (3.ª ed.). Wallingford. CABI.

Mac Loughlin, R. J. (2010). *Déficit de proteínas y ganancia de peso en recría y engorde de bovinos*. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_en_general/36-deficit_proteinas.pdf

Modernel, P., Picasso, V., Do Carmo, M., Rossing, W. A. H., Corbeels, M., Soca, P., Dogliotti, S., y Tittonell, P. (2019). Grazing management for more resilient mixed livestock farming systems on native grasslands of southern South America. *Grass and Forage Science, 74*(4), 636–649. https://doi.org/10.1111/gfs.12445

Molina, F., Carmona, D., y Ojeda, A. (2007). Evaluación del crecimiento compensatorio como estrategia de manejo en vacunos de carne a pastoreo. *Zootecnia Tropical, 25* (3), 149-155. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692007000300001

Mongelós Barrios, C. A., Valdez Ocampo, F. D., Huerta Maciel, A. M., López Ávalos, D. F., y Fernández Sánchez, A. (2024). Productividad estacional de cultivares de Panicum maximum. *Revista Alfa, 8*(24), 851–860. https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.308

Montossi, F., y Soares de Lima, J. M. (2020). Suplementación invernal de la recría bovina sobre campo natural: uso eficiente de la mano de obra y su impacto productivo y económico. *Revista INIA, 61*, 18–22. https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/14488/1/Rev-INIA-61-Junio-2020-p-18-22.pdf

National Research Council. (2016). *Nutrient requirements of beef cattle* (8ª ed.). Washington. National Academies Press.

Oliveira Porto, M., Fonseca Paulino, M., Valadares Filho, S., Lima Sales, M., Leão, M., y Moreira Couto, V. R. (2009). Fontes suplementares de proteína para novilhos mestiços em recria em pastagens de capim-braquiária no período das águas: desempenho produtivo e econômico. *Revista Brasileira de Zootecnia, 38*(8), 1553–1560. https://www.scielo.br/j/rbz/a/rpRs73DdHWvPqz53F8TbZXB/

Sainz, R. D., & Bentley, B. E. (1997). Visceral organ mass and cellularity in growth-restricted and refed beef steers. *Journal of Animal Science, 75*(5), 1229–1236. https://doi.org/10.2527/1997.7551229x

Trindade Júnior, G., Ferreira da Silva, F., Pinto de Carvalho, G. G., Vieira Santos, L., Dias Silva, J. W., Ribeiro Paixão, T., Lima Mendes, F. B., da Silva, E. A., de Lima Júnior, D. M., & Rodrigues Silva, R. (2025). Intake, digestibility, performance, and compensatory gain of post-weaned Guzolando (Guzerat × Holstein) heifers raised on tropical pasture. *Chilean Journal of Agricultural Research, 85*(6), 873-882. https://doi.org/10.4067/S0718-58392025000600873

Valadares Filho, S. C., Silva, L. F. C., Gionbelli, M. P., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Chizzotti, M. L., & Prados, L. F. (Eds.). (2016). Nutrient requirements of Zebu and crossbred cattle: BR-CORTE (3rd ed.). Viçosa. Suprema Gráfica Ltda. https://doi.org/10.5935/978-85-8179-111-1.2016B002

Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.

Wang, J., Shen, C., Zhao, G., Hanigan, M. D., & Li, M. (2024). Dietary protein re-alimentation following restriction improves protein deposition via changing amino acid metabolism and transcriptional profiling of muscle tissue in growing beef bulls. *Animal Nutrition, 19*, 117-130. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.04.028

Zanella, P. G., Carvalho, C. A. B. de, Ribeiro, E. T., Madeiro, A. S., & dos Santos Gomes, R. (2017). Optimal quadrat area and sample size to estimate the forage mass of stargrass. *Semina: Ciências Agrárias, 38*(5), 3165–3172. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n5p3165