

# Suplementación de hierro en terneras y su efecto sobre el crecimiento y la salud

## Iron supplementation in calves and its effect on growth and health

## Suplementação de ferro em bezerros e seu efeito no crescimento e na saúde

DOI: 10.34188/bjaerv8n4-014

Submetido: 30-08-2025

Aprovado: 15-09-2025

### María Eugenia Vargas-Camacho

Licenciatura en Ingeniería Agronómica con Énfasis en Zootecnia

Universidad de Costa Rica

Asesora independiente de explotaciones lecheras

Correo electrónico: mariavargas.zoote@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-7941-5503>

### Jorge Alberto Elizondo-Salazar\*

Doctor of Philosophy in Animal Science por University of Pennsylvania, U.S.A

Universidad de Costa Rica, Estación Experimental Alfredo Volio Mata

Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Costa Rica

Correo electrónico: jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr

<https://orcid.org/0000-0003-2603-9635>

### RESUMEN

El hierro es un micronutriente esencial para procesos metabólicos clave, como la formación de enzimas implicadas en el transporte y almacenamiento de oxígeno, cuya disponibilidad temprana favorece el desarrollo hematológico y el crecimiento saludable en terneras de lechería. El presente estudio evaluó el efecto de la suplementación intramuscular de hierro sobre parámetros de salud y crecimiento en terneras con o sin anemia al nacimiento. Se trabajó con 54 terneras Jersey, clasificadas según su concentración sérica de hierro y asignadas a un diseño factorial 2×2 con o sin suplementación intramuscular. Se midió el hierro sérico, la hemoglobina, el hematocrito y el crecimiento de los animales hasta los 90 días de vida. Los resultados mostraron que la suplementación aumentó significativamente el hierro sérico en las primeras dos semanas, mientras que la hemoglobina y el hematocrito no presentaron cambios consistentes, influenciados más por el estado anémico inicial. No se observaron diferencias significativas en peso hasta la semana 7; sin embargo, a partir de la semana 8, las terneras suplementadas sin anemia presentaron ganancias de peso superiores, con diferencias de hasta 5 kg al final del periodo. La ganancia diaria de peso promedio fue mayor en terneras suplementadas, aunque no siempre con significancia estadística. Estos hallazgos respaldan el uso temprano y estratégico de hierro intramuscular para mejorar el crecimiento, incluso en animales sin anemia manifiesta. En terneras anémicas, la respuesta fue menos clara, posiblemente por la anemia leve o factores fisiológicos adicionales.

**Palabras clave:** homeostasis del hierro, ganado, anemia, hierro sérico, salud

### RESUMO

O ferro é um micronutriente essencial para processos metabólicos importantes, como a formação de enzimas envolvidas no transporte e armazenamento de oxigênio. Sua disponibilidade precoce promove o desenvolvimento hematológico e o crescimento saudável em bezerros leiteiros. Este estudo avaliou o efeito da suplementação intramuscular de ferro sobre parâmetros de saúde e crescimento em bezerros

---

\* Autor para correspondencia

com e sem anemia ao nascimento. Cinquenta e quatro bezerros Jersey foram estudados, classificados de acordo com sua concentração sérica de ferro e alocados em um delineamento fatorial 2x2 com ou sem suplementação intramuscular. Ferro sérico, hemoglobina, hematócrito e crescimento foram medidos até 90 dias de idade. Os resultados mostraram que a suplementação aumentou significativamente o ferro sérico nas primeiras duas semanas, enquanto a hemoglobina e o hematócrito não apresentaram alterações consistentes, influenciados principalmente pelo estado anêmico inicial. Não foram observadas diferenças significativas no peso até a semana 7; no entanto, a partir da semana 8, bezerros suplementados sem anemia apresentaram maiores ganhos de peso, com diferenças de até 5 kg ao final do período de estudo. O ganho de peso médio diário foi maior em bezerros suplementados, embora nem sempre estatisticamente significativo. Esses achados corroboram o uso precoce e estratégico de ferro intramuscular para melhorar o crescimento, mesmo em animais sem anemia evidente. Em bezerros anêmicos, a resposta foi menos clara, possivelmente devido à anemia leve ou a fatores fisiológicos adicionais.

**Palavras-chave:** homeostase do ferro, bovinos, anemia, ferro sérico, saúde

### ABSTRACT

Iron is an essential micronutrient involved in key metabolic processes, including the formation of enzymes responsible for oxygen transport and storage. Its early availability supports hematological development and healthy growth in dairy heifer calves. This study evaluated the effect of intramuscular iron supplementation on health and growth parameters in calves born with or without anemia. A total of 54 Jersey heifer calves were classified according to their initial serum iron concentration and assigned to a 2x2 factorial design with or without intramuscular supplementation. Serum iron, hemoglobin, hematocrit, and growth were monitored up to 90 days of age. The results showed that supplementation significantly increased serum iron concentrations during the first two weeks. However, hemoglobin and hematocrit did not exhibit consistent changes, appearing to be more influenced by the calves' initial anemic status. No significant differences in body weight were observed until week 7; from week 8 onward, non-anemic calves that received supplementation showed greater weight gains, with differences of up to 5 kg by the end of the study period. Average daily weight gain was higher in supplemented calves, although not always statistically significant. These findings support the early and strategic use of intramuscular iron to enhance growth, even in animals without overt anemia. In anemic calves, the response to supplementation was less clear, potentially due to the mild severity of anemia or the influence of additional physiological factors.

**Keywords:** iron homeostasis, cattle, anemia, serum iron, health

## 1 INTRODUCCION

La nutrición adecuada de los reemplazos de lechería durante el período neonatal y en las primeras semanas de vida tiene un impacto determinante sobre su desarrollo, salud y desempeño productivo futuro. En esta etapa crítica, el suministro equilibrado de nutrientes es esencial para establecer una base sólida para el crecimiento eficiente, la madurez inmunológica y la futura producción de leche. Entre los oligoelementos fundamentales para la homeostasis fisiológica y el desarrollo adecuado de las terneras se encuentra el hierro, mineral esencial que participa en procesos metabólicos clave, incluyendo la síntesis de ADN, ARN y proteínas (Wang et al., 2020), así como en la formación de enzimas involucradas en el transporte y almacenamiento del oxígeno, tales como

hemoglobina, mioglobina, oxidasas, citocromos, ribonucleótido reductasas, aconitasas y óxido nítrico sintasas (Khaleghnia et al., 2021; Lieu et al., 2001).

El requerimiento de hierro en los animales jóvenes está influenciado por factores, como la edad, la tasa de crecimiento, el sexo, la condición corporal y, sobre todo, la disponibilidad y biodisponibilidad del hierro en la dieta (Prodanović et al., 2014). La fórmula establecida por NASEM (2021) para calcular la necesidad diaria de hierro en terneras es:  $[(34 \times \text{kg de ganancia de peso}) / 0,25]$ , lo que implica que una ternera con una ganancia diaria de 0,75 kg necesita aproximadamente 102 mg de hierro. Sin embargo, la leche de vaca, principal fuente de alimento durante las primeras semanas de vida, contiene entre 0,3 y 0,6 mg/kg de hierro (Hunt & Nielsen, 2009; Mamm et al., 2013), lo que la convierte en una fuente insuficiente para cubrir dichos requerimientos.

Esta deficiencia se ve agravada por una limitada transferencia placentaria de hierro durante la gestación, lo que expone a los neonatos a un alto riesgo de desarrollar anemia ferropriva desde los primeros días de vida (Helder et al., 2020). La anemia por deficiencia de hierro ha sido documentada desde hace décadas como una de las deficiencias nutricionales más comunes a nivel mundial (Knoop et al., 1935; Hibbs et al., 1963; Kupczyński et al., 2017, Stoffel & Drakesmith, 2024; Plate, 2023), y en el caso de las terneras, representa un factor que limita su crecimiento, reduce su vitalidad, compromete el desarrollo inmunológico y aumenta la susceptibilidad a enfermedades (Figueredo et al., 2010).

Existen múltiples reportes de alta incidencia de anemia en terneras durante las primeras semanas de vida (Hibbs et al., 1963; Heidarpour-Bami et al., 2008; Mohri et al., 2010). En consecuencia, la suplementación de hierro ha sido propuesta como una estrategia efectiva para prevenir la anemia, mejorar el rendimiento y favorecer el crecimiento en terneras. Un ensayo multicéntrico mostró que las inyecciones de hierro dextrán en terneras alimentadas con leche entera aumentaron la ganancia diaria de peso en aproximadamente 78 g/d entre la semana uno y seis, junto con niveles hemoglobínicos significativamente más altos (Allan et al., 2020).

Otros estudios han confirmado que la suplementación, ya sea oral o parenteral, puede mejorar parámetros hematológicos como la concentración de hemoglobina (Hb), el hematocrito (Ht), el número de glóbulos rojos (RBC) y las concentraciones séricas de hierro, aunque sus efectos sobre el rendimiento productivo no siempre han sido consistentes (Moosavian et al., 2010; Cui et al., 2016; Golbeck et al., 2023).

En un estudio controlado, Golbeck et al. (2023) compararon la suplementación oral y parenteral de hierro en terneras recién nacidas, encontrando mejoras significativas en Hb y Ht durante las primeras 9 semanas de vida, sin diferencias en la ganancia diaria de peso. De manera

similar, Sickinger et al. (2024) observaron que la administración de hierro dextrano en neonatos mejoró los parámetros hematológicos hasta los 10 días de edad. Cohrs et al. (2023) reportaron que la suplementación inyectable durante las primeras seis semanas aumentó la ganancia diaria de peso, aunque los resultados fueron variables entre fincas.

Estos hallazgos ponen de manifiesto la importancia de estudiar los efectos del hierro no solo desde un punto de vista hematológico, sino también productivo, adaptado al contexto y condiciones locales. En Costa Rica, particularmente en zonas de altura como el cantón de Oreamuno en la provincia de Cartago, no existen estudios publicados que evalúen el efecto de la suplementación con hierro en terneras de reemplazo bajo condiciones comerciales reales. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la suplementación de hierro sobre parámetros de salud (hematológicos) y crecimiento (peso y ganancia diaria) en terneras con o sin anemia al nacimiento, criadas en una finca lechera comercial ubicada en Santa Rosa de Oreamuno, Cartago, Costa Rica.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación

El estudio se realizó en una finca lechera, ubicada en la localidad de Santa Rosa de Oreamuno, provincia de Cartago, Costa Rica ( $9^{\circ}55' N$ ,  $83^{\circ}50' O$ ), a una altitud de 2188 m s. n. m. El área presenta una precipitación media anual de 2370 mm y una temperatura media anual de  $14,2^{\circ}C$ , con registros mínimos de  $9,2^{\circ}C$  y máximos de  $19^{\circ}C$ .

### Animales y manejo inicial

Se utilizaron 54 terneras de la raza Jersey desde el nacimiento hasta los 90 días de edad, con un peso corporal promedio al nacer de  $27,3 \pm 1,0$  kg. Inmediatamente después del parto, las terneras fueron separadas de sus madres y se les tomó una muestra de sangre por venopunción yugular para determinar la concentración de hierro sérico, hemoglobina y hematocrito. Las muestras fueron procesadas por un laboratorio comercial certificado. Se consideró la presencia de anemia cuando la concentración de hemoglobina fue inferior a  $7,5$  g dL<sup>-1</sup> (González-Garduño et al., 2025) y cuando la concentración de hierro sérico fue menor a  $10$   $\mu$ mol L<sup>-1</sup> (Ježek et al., 2011).

Posterior a la toma de muestra, cada ternera recibió 4 litros de calostro de alta calidad ( $\geq 50$  g/L de inmunoglobulinas, determinado con calostrómetro) mediante un alimentador esofágico. Las terneras fueron alojadas en cunas individuales bajo techo, con manejo estandarizado.

A las 72 horas de vida se tomó una segunda muestra de sangre para medir la concentración de proteína sérica total. Solo se incluyeron en el estudio aquellas terneras con concentraciones  $\geq 5,5$  g dL<sup>-1</sup>, lo cual indica una adecuada transferencia pasiva de inmunidad (Trotz-Williams et al., 2008).

La medición se realizó con un refractómetro óptico de mano (Atago Master-Sur/Na, Bellevue, WA, USA).

### **Alimentación**

Desde el segundo día de vida hasta los 90 días, los animales recibieron 4 litros diarios de leche entera en dos tomas (6:00 a. m. y 6:00 p. m.). A partir del tercer día, se ofreció alimento balanceado comercial (87 % de materia seca, 20 % de proteína cruda y 3,2 Mcal EM kg MS<sup>-1</sup>) ad libitum, con incrementos progresivos según consumo individual. A partir del primer mes, se ofreció heno de transvala (*Digitaria decumbens*) también a libre acceso.

### **Diseño experimental y tratamientos**

Con base en los resultados hematológicos iniciales, las terneras se asignaron a uno de cuatro grupos experimentales bajo un diseño factorial 2×2, considerando la condición inicial de hierro (alta o baja) y la suplementación (sí o no) como factores:

- 1) Alta concentración de hierro, sin suplementación.
- 2) Alta concentración de hierro, con suplementación (4 mL de hierro intramuscular al tercer día de vida).
- 3) Baja concentración de hierro, sin suplementación.
- 4) Baja concentración de hierro, con suplementación (4 mL de hierro intramuscular al tercer día de vida).

### **Muestreo sanguíneo y análisis hematológico**

Se tomaron muestras de sangre a los 0, 7, 14 y 21 días de edad por venopunción yugular. Se utilizaron tubos al vacío con y sin anticoagulante (tapa morada y roja, respectivamente). Las muestras se enviaron al laboratorio para determinar la concentración de hierro sérico, hemoglobina y hematocrito, utilizando equipos automatizados: Sysmex® para hemoglobina y hematocrito, y Selectra para hierro sérico.

### **Determinación del contenido de hierro en la dieta**

Se realizaron análisis del contenido de hierro en todas las fuentes alimenticias proporcionadas: calostro, leche entera, concentrado, heno y agua, con el fin de determinar el consumo total de hierro a lo largo del estudio.

## Evaluación del crecimiento de los animales

Se midió el peso corporal de cada ternera semanalmente desde el nacimiento hasta las 12 semanas de edad, utilizando una balanza electrónica calibrada. La ganancia diaria de peso se calculó a partir de la diferencia de peso entre semanas consecutivas, comenzando desde la segunda semana.

## Registro del consumo de alimento

El consumo de alimento balanceado se controló diariamente. Se registró la cantidad ofrecida y el rechazo, y se ajustó la oferta según el apetito individual, con el objetivo de asegurar disponibilidad continua.

## Parámetros de salud

Se registraron diariamente los episodios de enfermedades, principalmente diarrea y neumonía, así como la aplicación de tratamientos veterinarios, su duración y evolución clínica.

## Análisis estadístico

Los datos obtenidos sobre concentración de hemoglobina, hierro sérico, parámetros hematológicos, consumo de alimento y peso corporal fueron analizados mediante un diseño factorial de medidas repetidas utilizando el procedimiento MIXED del programa SAS (SAS Institute Inc., 2018). Cada ternera fue considerada como unidad experimental y se incluyó el peso al nacimiento como covariable. Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey, considerando diferencias significativas aquellas con  $p < 0,05$ .

El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + W_j + (TW)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = variables dependientes

$\mu$  = media general

$T_i$  = efecto fijo del tratamiento  $i$ .

$W_j$  = medidas repetidas en el tiempo  $j$

$(TW)_{ij}$  = efecto del tratamiento por el tiempo de interacción

$\varepsilon_{ijk}$  = error experimental

## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Aporte de hierro

La Tabla 1 muestra el consumo diario promedio de hierro absorbible por tratamiento, con diferencias significativas entre grupos a partir de la quinta semana ( $p = 0,03$ ).

Tabla 1. Consumo promedio diario de hierro absorbible por semana experimental en función del tratamiento aplicado.

Table 1. Average daily intake of absorbable iron per experimental week according to the applied treatment.

Semana	Consumo de hierro absorbible (mg día <sup>-1</sup> )			
	AC	AS	BC	BS
Nacimiento	12,10	12,10	12,10	12,10
1	13,50	12,85	14,17	15,48
2	17,84	18,20	17,45	17,83
3	24,18	26,42	27,77	24,78
4	29,55	26,24	36,57	26,30
5	64,03 <sup>a</sup>	40,89 <sup>b</sup>	47,14 <sup>b</sup>	34,81 <sup>b</sup>
6	78,84 <sup>b</sup>	59,47 <sup>c</sup>	92,82 <sup>a</sup>	59,66 <sup>c</sup>
7	97,91 <sup>a</sup>	76,66 <sup>c</sup>	87,45 <sup>abc</sup>	90,67 <sup>ab</sup>
8	104,36 <sup>b</sup>	100,31 <sup>b</sup>	130,17 <sup>a</sup>	96,27 <sup>b</sup>
9	145,47 <sup>b</sup>	134,20 <sup>c</sup>	143,82 <sup>bc</sup>	174,44 <sup>a</sup>
10	150,53 <sup>b</sup>	142,64 <sup>b</sup>	175,12 <sup>a</sup>	175,15 <sup>a</sup>
11	173,92 <sup>ab</sup>	167,54 <sup>b</sup>	175,06 <sup>ab</sup>	182,72 <sup>a</sup>
12	201,14 <sup>a</sup>	184,39 <sup>b</sup>	209,92 <sup>a</sup>	195,93 <sup>ab</sup>
Promedio	85,64	77,07	89,97	85,09
EEM	5,20	4,90	7,85	7,30

<sup>abc</sup>Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

EEM: Error estándar de la media

AC=Terneas que nacieron sin anemia y se les aplicó inyección intramuscular de hierro. AS= Terneas que nacieron sin anemia y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro. BC= Terneas que nacieron anémicas y se les aplicó inyección intramuscular de hierro. BS= Terneas que nacieron anémicas y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro.

Fuente: Elaborado por los autores, 2025.

Las terneras del grupo AC presentaron un consumo significativamente mayor de hierro absorbible respecto al grupo AS desde la semana 5 hasta la 12, excepto en las semanas 8 y 10. En las del grupo BC se observó un mayor consumo que en BS en las semanas 6 y 8, mientras que en la semana 9 el mayor consumo fue para las terneras BS. Estos incrementos se asocian con un mayor consumo de alimento balanceado, crucial para aumentar el aporte de hierro.

Este comportamiento concuerda con Moos et al. (2002), quienes indican que a mayor ingesta de materia seca y en presencia de reservas bajas de hierro, la absorción intestinal se maximiza debido a una mayor regulación positiva de transportadores como DMT1.

### Concentración de hierro sanguíneo

Las concentraciones de hierro sérico en las terneras a lo largo de las primeras tres semanas de vida se resumen en la Tabla 2. Al nacimiento, el grupo AS mostró mayor concentración (26,6

$\mu\text{mol L}^{-1}$ ), mientras que BS presentó la más baja ( $7,2 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). En la semana 1, AC alcanzó su pico de  $26,3 \mu\text{mol L}^{-1}$ , y BC lo hizo en la semana 2 ( $32,3 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). El grupo BS experimentó una recuperación parcial en las semanas 1 y 2, pero regresó a niveles cercanos al nacimiento en la semana 3.

Tabla 2. Concentración del hierro sérico ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) a lo largo de las primeras tres semanas de vida de las terneras según el tratamiento aplicado.

Table 2. Serum iron concentration ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) during the first three weeks of life of the calves according to the applied treatment.

Nacimiento	18,7 <sup>Bb</sup>	26,6 <sup>Aa</sup>	8,1 <sup>Cc</sup>	7,2 <sup>Bc</sup>
1	26,3 <sup>Aa</sup>	15,8 <sup>Bb</sup>	14,5 <sup>Cb</sup>	16,2 <sup>Ab</sup>
2	20,1 <sup>Bb</sup>	20,9 <sup>ABb</sup>	32,3 <sup>Aa</sup>	15,8 <sup>Ab</sup>
3	17,6 <sup>Bb</sup>	21,8 <sup>ABab</sup>	24,2 <sup>Ba</sup>	9,3 <sup>Bc</sup>
EEM	2,3	2,7	4,0	2,1

<sup>abc</sup>Letras minúsculas distintas en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

<sup>ABC</sup>Letras mayúsculas distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

AC = Terneras que nacieron sin anemia y se les aplicó inyección intramuscular de hierro.

AS = Terneras que nacieron sin anemia y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro.

BC = Terneras que nacieron anémicas y se les aplicó inyección intramuscular de hierro.

BS = Terneras que nacieron anémicas y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro.

Fuente: Elaborado por los autores, 2025.

Los resultados coinciden con hallazgos recientes donde la administración parenteral de hierro, como el hierro dextrán, incrementa significativamente las concentraciones de hierro sérico y otros parámetros hematológicos durante las primeras semanas de vida (Mohri et al., 2010; Sickinger et al., 2024). En contraste, los animales no suplementados tienden a presentar una disminución inicial del hierro sérico (Büttner et al., 2024; Joerling & Doll, 2019). Estos efectos pueden explicarse por la limitada disponibilidad de hierro en el calostro, el cual suele aportar entre 3 y 5 mg  $\text{dL}^{-1}$ , mientras que el requerimiento estimado para una ternera recién nacida ronda los 40 mg. Esta diferencia provoca una reducción progresiva de las reservas férricas en los primeros días si no se proporciona suplementación (Joerling & Doll, 2019).

En el grupo BS, se observó un incremento en la concentración de hierro sérico durante la primera semana de vida, seguido por una disminución progresiva con el paso del tiempo. Una posible explicación para este patrón es que estos animales contaban al nacer con reservas de hierro adecuadas para cubrir sus requerimientos iniciales. Además, mantenían un balance nutricional positivo en relación con el aporte de hierro, apoyado por las ganancias de peso observadas durante esas semanas (Tabla 6). Sin embargo, a medida que las terneras crecían, el rápido aumento del volumen sanguíneo y la aceleración del desarrollo corporal habrían demandado un mayor uso

inmediato del hierro disponible, reduciendo así su almacenamiento en el organismo (Miltenburg et al., 1993; Prodanović et al., 2014).

Esta teoría es respaldada por estudios recientes que indican que, una vez agotadas las reservas hepáticas de hierro en terneros, la demanda para sostener el crecimiento y la expansión del volumen sanguíneo supera la capacidad de reposición dietaria, provocando una extracción constante de hierro del plasma hacia los tejidos deficientes. Esto conlleva una reducción de las concentraciones séricas de hierro, a pesar de un consumo adecuado, especialmente en animales con altas tasas de crecimiento (Egli et al., 2006; Naylor et al., 2021).

## Hemoglobina

La Tabla 3 presenta la concentración de hemoglobina ( $\text{g dL}^{-1}$ ) en las primeras 3 semanas.

Tabla 3. Concentración de hemoglobina a lo largo de las primeras tres semanas de vida de las terneras según el tratamiento aplicado.

Table 3. Hemoglobin concentration during the first three weeks of life of the calves according to the applied treatment.

	AC	AS	BC	BS
	$\text{g dL}^{-1}$			
Nacimiento	12,9 <sup>Aa</sup>	11,6 <sup>Ab</sup>	9,2 <sup>c</sup>	10,7 <sup>Bc</sup>
1	10,7 <sup>Bb</sup>	11,6 <sup>Ab</sup>	9,0 <sup>c</sup>	13,6 <sup>Aa</sup>
2	10,5 <sup>Bb</sup>	10,9 <sup>Bb</sup>	9,1 <sup>c</sup>	13,8 <sup>Aa</sup>
3	11,4 <sup>ABa</sup>	9,9 <sup>Cb</sup>	9,3 <sup>b</sup>	9,8 <sup>Bab</sup>
EEM	0,8	0,3	0,5	1,3

<sup>abc</sup>Letras minúsculas distintas en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

<sup>ABC</sup>Letras mayúsculas distintas en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

AC = Terneras que nacieron sin anemia y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. AS = Terneras que nacieron sin anemia y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BC = Terneras que nacieron anémicas y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BS = Terneras que nacieron anémicas y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas.

Fuente: Elaborado por los autores, 2025.

Según González-Garduño et al. (2025), se considera que una ternera presenta anemia cuando su concentración de hemoglobina es inferior a  $7,5 \text{ g dL}^{-1}$ . Con base en este criterio, ninguna de las terneras en los distintos tratamientos mostró valores por debajo de ese umbral al momento del nacimiento. No obstante, es importante señalar que concentraciones reducidas de hemoglobina pueden provocar síntomas como fatiga y disnea debido al aumento en la demanda de oxígeno durante el esfuerzo físico; por esta razón, la hemoglobina es ampliamente utilizada como el principal indicador diagnóstico de anemia (Sickinger et al., 2024). En el presente estudio, el enfoque estuvo en la anemia ferropénica, observándose que, aunque las concentraciones de hemoglobina no indicaban un estado anémico al nacer, los animales sí presentaban deficiencia de hierro desde el nacimiento.

Aunque todos los grupos mostraron valores iniciales por encima de  $7,5 \text{ g dL}^{-1}$ , los animales del grupo BS presentaron un marcado incremento en la primera semana, superando a los demás.

Los grupos AC y BC no respondieron con incrementos significativos tras la inyección, lo que coincide con estudios como el de Paez (2010) y Mohri et al. (2004). No obstante, investigaciones como las de Heidarpour-Bami et al. (2008) sí encontraron incrementos significativos tras suplementación intramuscular.

De acuerdo con Welchman et al. (1988) y Mohri et al. (2004), la cantidad de hierro necesaria para sostener una producción adecuada de hemoglobina se encuentra entre 100 y 150 mg por día. Sin embargo, también señalan que un aumento en la ingesta de hierro por encima de este umbral no necesariamente se traduce en incrementos proporcionales en la concentración de hemoglobina. Como se muestra en la Tabla 1, el suministro dietético de hierro durante las primeras tres semanas de vida fue inferior a 28 mg diarios, lo que explica por qué la administración de hierro inyectable no siempre provoca el aumento esperado en los niveles de hemoglobina.

La respuesta variable en hemoglobina a pesar de un aporte alto de hierro sugiere que dosis únicas o temporales pueden no ser suficientes para impactar significativamente los depósitos de hemoglobina, especialmente si la dieta base aporta bajo hierro.

## Hematocrito

Según los datos presentados en el Tabla 4, los valores de hematocrito muestran que las terneras del grupo AS mostraron los valores más altos, seguidos de cerca por los animales del grupo AC. En la semana 1, los animales del grupo BS cayeron por debajo del 27 %, umbral mínimo para bovinos según Renaud et al. (2018). Además, los animales del tratamiento BC se mantuvieron bajo en hematocrito durante todo el muestreo.

Tabla 4. Comportamiento del hematocrito a lo largo de las primeras tres semanas de vida de las terneras según el tratamiento aplicado.

Table 4. Hematocrit concentration during the first three weeks of life of the calves according to the applied treatment.

	AC	AS	BC	BS
	%			
Nacimiento	32,2 <sup>b</sup>	34,8 <sup>a</sup>	26,9 <sup>c</sup>	31,4 <sup>Ab</sup>
1	30,3 <sup>b</sup>	32,8 <sup>a</sup>	24,6 <sup>c</sup>	25,7 <sup>Bc</sup>
2	29,6 <sup>a</sup>	30,9 <sup>a</sup>	25,0 <sup>b</sup>	23,8 <sup>Bb</sup>
3	32,4 <sup>a</sup>	31,3 <sup>a</sup>	27,1 <sup>b</sup>	26,6 <sup>Bb</sup>
EEM	1,3	1,0	1,6	2,1

<sup>abc</sup>Letras minúsculas distintas en la misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

<sup>ABC</sup>Letras mayúsculas distintas en la misma columna indican diferencias significativas (p<0,05).

AC = Terneras que nacieron sin anemia y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. AS = Terneras que nacieron sin anemia y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BC = Terneras que nacieron anémicas y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BS = Terneras que nacieron anémicas y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas.

Fuente: Elaborado por los autores, 2025.

El porcentaje de hematocrito está altamente condicionado por factores como el estado de hidratación, el ejercicio físico y el estrés, lo que puede provocar fluctuaciones importantes en cortos lapsos de tiempo. No obstante, cualquier cambio sostenido en este parámetro se manifiesta a mediano o largo plazo, dado que la vida media de los eritrocitos es cercana a los 140 días (Kaneko et al., 2008). Por ejemplo, en situaciones de deshidratación, el hematocrito tiende a elevarse debido a la concentración relativa de eritrocitos en el plasma. Este fenómeno se observó en las terneras del grupo BS, las cuales presentaron una mayor incidencia de diarreas en comparación con los demás tratamientos, lo que se tradujo en valores de hematocrito más elevados.

Las terneras de los grupos AC y AS, al presentar un mayor porcentaje de hematocrito al momento del nacimiento, probablemente lograron conservar estos niveles elevados durante las tres primeras semanas de vida. Esta estabilidad sugiere que las diferencias observadas entre tratamientos se explican mejor al considerar el estado anémico al nacer. Durante este periodo inicial, las terneras no mostraron diferencias significativas en peso que pudieran provocar un efecto de dilución del volumen sanguíneo, ni hubo variaciones relevantes en la incidencia de diarrea que pudieran influir mediante un efecto de deshidratación.

En el estudio realizado por Paez (2010), al igual que en el caso de la hemoglobina, la administración de hierro dextrán no tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de hematocrito. El autor atribuye este resultado al uso de una única dosis del suplemento, señalando que los animales probablemente lograron corregir la deficiencia de hierro una vez que comenzaron a consumir alimento. Esta explicación coincide con lo observado en los resultados del presente estudio.

### **Peso semanal**

No se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en los pesos semanales durante las primeras siete semanas. Sin embargo, a partir de la semana 8, las terneras del grupo AC mostraron pesos significativamente superiores en comparación con las del grupo AS (Tabla 5). No se encontraron diferencias consistentes entre AC y los grupos con anemia (BC, BS), lo que sugiere que el efecto principal se produce al comparar hierro suplementado versus no suplementado dentro del mismo estado inicial.

Tabla 5. Peso (kg) promedio semanal obtenido de los diferentes tratamientos.  
Table 5. Average weekly weight (kg) obtained from the different treatments.

Semana	AC	AS	BC	BS
Nacimiento	27,6	26,7	27,8	27,7
1	29,2	27,4	28,6	28,9
2	30,5	28,6	29,8	30,0
3	32,7	30,3	31,4	31,9
4	36,8	33,3	34,4	33,7
5	39,3	36,8	37,9	36,5
6	43,8	40,7	42,0	40,6
7	48,5	45,0	47,9	44,9
8	54,3 <sup>a</sup>	50,0 <sup>b</sup>	51,8 <sup>ab</sup>	49,6 <sup>b</sup>
9	58,6 <sup>a</sup>	54,8 <sup>b</sup>	58,6 <sup>ab</sup>	55,4 <sup>ab</sup>
10	65,2 <sup>a</sup>	59,6 <sup>c</sup>	63,9 <sup>ab</sup>	60,4 <sup>bc</sup>
11	70,5 <sup>a</sup>	66,0 <sup>b</sup>	68,8 <sup>ab</sup>	67,1 <sup>ab</sup>
12	76,5 <sup>a</sup>	71,6 <sup>b</sup>	75,9 <sup>ab</sup>	73,5 <sup>ab</sup>
EEM	1,8	1,7	2,5	2,4

<sup>ab</sup>Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

AC=Terneas que nacieron sin anemia y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas

AS= Terneas que nacieron sin anemia y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas

BC= Terneas que nacieron anémicas y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas

BS= Terneas que nacieron anémicas y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas

Fuente: Elaborado por los autores, 2025.

Al final del experimento en la semana 12, el peso promedio de AC fue de 76,5 kg, frente a 71,6 kg en AS, lo que representa una ventaja de casi 5 kg en las terneras suplementadas, estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ). Aunque ambos grupos alcanzaron el rango de peso esperado para terneras Jersey a las 12 semanas (70-80 kg), la ventaja observada en AC sugiere que la administración temprana de hierro puede optimizar el desempeño productivo incluso en animales no anémicos (Budny-Walczak et al., 2023).

En contraste, no se detectaron diferencias significativas entre el grupo AC y los grupos con anemia (BC y BS), lo que sugiere que el principal efecto observado corresponde a la comparación entre animales con y sin suplementación de hierro dentro del mismo estado fisiológico inicial. La falta de respuesta contundente en los grupos con anemia podría atribuirse a que los niveles de anemia detectados no alcanzaron una gravedad suficiente para comprometer el crecimiento, como lo han planteado Khaleghnia et al. (2021); Golbeck et al. (2023) y Büttner et al. (2024). En este sentido, el beneficio de la suplementación podría no manifestarse de manera clara en animales con anemia leve o transitoria.

Investigaciones científicas muestran resultados mixtos sobre el efecto de la suplementación férrica en terneras. Algunos estudios reportan incrementos significativos en peso tras la suplementación, como el de Mohri et al. (2015), quienes observaron que la administración oral de hierro durante las primeras semanas de vida mejoró el peso vivo y la conversión alimenticia en terneras Holstein. De manera similar, Khaleghnia et al. (2021) documentaron que la suplementación parenteral con hierro dextrán favoreció parámetros hematológicos y, en ciertos casos, un mejor desempeño productivo. Sin embargo, otros estudios, como el de Golbeck et al. (2023), encontraron que, aunque la suplementación mejoró los valores de hemoglobina y hematocrito, no se observaron diferencias significativas en la ganancia diaria de peso, lo que confirma que los efectos sobre el crecimiento pueden variar según el estado inicial de hierro, la dosis y la vía de administración.

En el presente estudio, la administración intramuscular de hierro se realizó al tercer día de vida, momento clave para la prevención de deficiencias en la fase pre-rumiante. Como lo describen Stoffel & Drakesmith (2024) y Suárez et al. (2021), el hierro es esencial para la actividad de enzimas mitocondriales involucradas en la cadena respiratoria y la producción de ATP. Su deficiencia se asocia con una disminución en el metabolismo energético, lo que puede comprometer el crecimiento. Esta base fisiológica podría explicar el mejor desempeño observado en las terneras del grupo AC.

Por otra parte, es importante considerar que el tamaño de muestra del presente estudio pudo limitar la detección de diferencias más marcadas entre tratamientos, como también han reportado estudios previos con resultados no concluyentes (Golbeck et al., 2023; Khaleghnia et al., 2020). No obstante, los hallazgos aquí presentados coinciden con la literatura que respalda un efecto positivo del hierro en el crecimiento, particularmente cuando se administra de forma preventiva y en animales con adecuada condición inicial (Büttner et al., 2024; Mohri et al., 2015).

### **Ganancia diaria de peso**

Las ganancias diarias de peso (GDP) semanales para los diferentes tratamientos se presentan en la Tabla 6. Si bien se identificaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos en algunas semanas específicas, en general, las terneras que recibieron suplementación de hierro (grupos AC y BC) tendieron a mostrar mejores desempeños en comparación con aquellas que no fueron suplementadas (AS y BS).

Al comparar las terneras no anémicas (AC vs. AS), se observaron diferencias estadísticamente significativas en tres de las doce semanas evaluadas, mientras que en el resto del periodo sus ganancias fueron similares. Una situación análoga se presentó entre los grupos anémicos (BC vs. BS), así como entre los grupos suplementados (AC vs. BC). En contraste, las terneras que

no recibieron suplementación férrica (AS y BS) no mostraron diferencias significativas entre sí durante todo el experimento y, además, registraron en la mayoría de las semanas las menores ganancias de peso.

En términos promedios, las GDP fueron ligeramente superiores en los grupos suplementados: 0,59 kg/día para AC y 0,57 kg día<sup>-1</sup> para BC. Por su parte, los grupos no suplementados obtuvieron promedios de 0,55 kg día<sup>-1</sup> (BS) y 0,54 kg día<sup>-1</sup> (AS). Aunque las diferencias promedio pueden parecer modestas, el patrón repetido a lo largo del tiempo refleja una ventaja consistente en las terneras que recibieron hierro por vía intramuscular.

Tabla 6. Ganancias de peso (kg día<sup>-1</sup>) promedio semanales obtenidos por las terneras de diferentes tratamientos.  
Table 6. Average weekly weight gain (kg day<sup>-1</sup>) in calves under different treatments.

Semana	AC	AS	BC	BS
1	0,316 <sup>a</sup>	0,143 <sup>b</sup>	0,105 <sup>b</sup>	0,219 <sup>ab</sup>
2	0,182	0,164	0,186	0,225
3	0,315	0,241	0,216	0,272
4	0,590 <sup>a</sup>	0,427 <sup>b</sup>	0,432 <sup>ab</sup>	0,257 <sup>b</sup>
5	0,357	0,500	0,508	0,405
6	0,631	0,554	0,574	0,586
7	0,680 <sup>ab</sup>	0,623 <sup>b</sup>	0,853 <sup>a</sup>	0,616 <sup>b</sup>
8	0,826 <sup>a</sup>	0,714 <sup>ab</sup>	0,555 <sup>b</sup>	0,670 <sup>ab</sup>
9	0,614 <sup>b</sup>	0,686 <sup>b</sup>	0,967 <sup>a</sup>	0,812 <sup>ab</sup>
10	0,942 <sup>a</sup>	0,689 <sup>b</sup>	0,755 <sup>ab</sup>	0,700 <sup>b</sup>
11	0,757 <sup>ab</sup>	0,906 <sup>a</sup>	0,698 <sup>b</sup>	0,938 <sup>a</sup>
12	0,860 <sup>ab</sup>	0,799 <sup>b</sup>	1,020 <sup>a</sup>	0,905 <sup>ab</sup>
EEM	0,080	0,080	0,110	0,110

<sup>ab</sup>Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas (p<0,05).

AC=Terneras que nacieron sin anemia y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. AS= Terneras que nacieron sin anemia y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BC= Terneras que nacieron anémicas y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BS= Terneras que nacieron anémicas y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas.

Fuente: Elaborado por los autores, 2025.

Estos resultados son coherentes con los reportes de Salles et al., 2025 y Sickinger et al., 2024, quienes asocian la deficiencia de hierro con un crecimiento reducido, pérdida de apetito y mayor susceptibilidad a infecciones. Esto se debe a que el hierro es un elemento esencial para múltiples procesos fisiológicos, incluyendo el transporte de oxígeno (a través de hemoglobina y mioglobina), la respiración celular (citocromos) y la actividad enzimática dependiente de oxígeno (Kupczyński et al., 2017).

A pesar de las diferencias observadas, las variaciones en las ganancias diarias de peso no siempre fueron estadísticamente significativas. Esto podría explicarse por el aporte parcial de hierro dietético que, si bien no corrige completamente la anemia, puede contribuir a mantener una tasa de crecimiento aceptable (Kupczyński et al., 2017). Asimismo, se ha descrito que durante la etapa neonatal existe una alta eficiencia en la absorción intestinal de hierro, favorecida por la demanda fisiológica del crecimiento temprano (Salles et al., 2025).

Sickinger et al. (2024) también observaron que animales no suplementados presentaban menores ganancias de peso y eficiencia alimenticia, asociadas tanto a la deficiencia directa de hierro como a efectos secundarios como alteraciones metabólicas y mayor incidencia de infecciones.

En conjunto, estos hallazgos respaldan la hipótesis de que la suplementación intramuscular de hierro en terneras neonatales, incluso en aquellas sin signos de anemia al nacimiento, puede mejorar levemente, pero de manera consistente las ganancias diarias de peso. Esta mejora puede atribuirse tanto a un mejor metabolismo energético como a una menor susceptibilidad a efectos subclínicos de deficiencia férrica. No obstante, dado que las diferencias promedio fueron modestas, se recomienda considerar también el estatus férrico inicial, la calidad de la dieta y el entorno sanitario al momento de tomar decisiones sobre suplementación.

### **Consumo de alimento balanceado**

El consumo de alimento balanceado aumentó progresivamente a partir de la semana 5 en todos los grupos experimentales (Tabla 7). En las terneras no anémicas (AC y AS), no se observaron diferencias significativas durante la mayoría del periodo experimental, salvo en las semanas 5 y 7, donde el grupo AC mostró un mayor consumo. Entre las terneras anémicas, se detectaron diferencias significativas en las semanas 6, 8 y 9, a favor del grupo BC (suplementadas con hierro), aunque estas diferencias no se mantuvieron de forma consistente en el tiempo.

Cabe destacar que en las semanas 8 y 10, el grupo BC superó en consumo incluso al grupo AC, aunque sin diferencias estadísticamente sostenidas. En cambio, las terneras que no recibieron suplementación férrica (AS y BS) mostraron diferencias significativas solo en las semanas 9 y 10, con mayores consumos en BS respecto a AS. A partir de la semana 11, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos.

Tabla 7. Diferencias en el consumo de alimento promedio semanal obtenidos de los diferentes tratamientos.  
Table 7. Differences in average weekly feed intake among the different treatments.

	AC	AS	BC	BS
	g semana <sup>-1</sup>			
Nacimiento	--	--	--	--
1	70	40	110	158
2	282	303	285	267
3	562	667	730	591
4	813	658	1140	662
5	2 419 <sup>a</sup>	1 341 <sup>b</sup>	1 632 <sup>b</sup>	1 058 <sup>b</sup>
6	3 109 <sup>ac</sup>	2 206 <sup>bc</sup>	3 760 <sup>a</sup>	2 216 <sup>bc</sup>
7	3 997 <sup>a</sup>	3 007 <sup>b</sup>	3 510 <sup>b</sup>	3 660 <sup>ab</sup>
8	4 298 <sup>b</sup>	4 109 <sup>b</sup>	5 500 <sup>a</sup>	3921 <sup>b</sup>
9	6 212 <sup>b</sup>	5 688 <sup>b</sup>	6 136 <sup>b</sup>	7 317 <sup>a</sup>
10	6 448 <sup>b</sup>	6 081 <sup>b</sup>	7 594 <sup>a</sup>	7 453 <sup>a</sup>
11	7 538	7 241	7 591	7 840
12	8 806 <sup>ab</sup>	8 026 <sup>b</sup>	9 215 <sup>a</sup>	8 466 <sup>ab</sup>
EEM	414	400	586	583

<sup>ab</sup>Letras distintas en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

AC=Terneras que nacieron sin anemia y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. AS=Terneras que nacieron sin anemia y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BC=Terneras que nacieron anémicas y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BS=Terneras que nacieron anémicas y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas.

Fuente: Elaborado por los autores, 2025.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Constable et al. (2016), quienes indican que animales con anemia severa tienden a presentar un crecimiento reducido y menor consumo de alimento, así como una baja eficiencia en su utilización. Aunque en el presente estudio no se identificaron diferencias marcadas en el consumo semanal en todos los casos, es probable que la deficiencia de hierro haya sido moderada y parcialmente compensada por el hierro dietético, como sugieren Heidarpour Bami et al. (2008).

Aunque las diferencias en consumo de alimento entre tratamientos fueron limitadas y puntuales, existe una tendencia favorable en los grupos que recibieron suplementación con hierro, lo que podría haber contribuido, en parte, a sus mejores parámetros de crecimiento.

## Salud

En la Tabla 8 se presentan los porcentajes de animales enfermos según el tratamiento. Los casos de diarrea y enfermedades respiratorias fueron más frecuentes en el grupo BC, aunque solo el 19% de las diarreas requirieron más de tres días de tratamiento, y el 40% de las neumonías persistieron más allá del tercer día.

Tabla 8. Porcentaje de animales enfermos según el tratamiento ofrecido.  
Table 8. Percentage of sick animals according to the treatment provided.

	AC	AS	BC	BS
Diarrea, %	1,98	1,96	2,50	2,03
Respiratorio, %	0,87	1,39	1,56	1,02
Apariencia, %	0,00	0,00	0,16	0,14

AC=Terneas que nacieron sin anemia y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. AS= Terneas que nacieron sin anemia y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BC= Terneas que nacieron anémicas y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BS= Terneas que nacieron anémicas y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas.

Fuente: Elaborado por los autores, 2025.

Las condiciones ambientales y de manejo parecen haber influido en la aparición de enfermedades leves, ya que en todos los tratamientos la mayoría de los episodios clínicos fueron de corta duración (Tabla 9). Por ejemplo, en el grupo AC, el 92% de los casos de diarrea duraron solo entre 1 y 2 días, probablemente debido a factores puntuales como el manejo de la leche. Las terneras del grupo BS fueron el segundo grupo con mayor incidencia de diarrea, aunque el 79% de los casos también fueron de corta duración. Las menores tasas de diarrea se observaron en los grupos AS y AC.

Tabla 9. Días en que duraron en curarse los animales según la enfermedad y tratamiento.  
Table 9. Number of days animals took to recover according to disease and treatment.

	AC		AS		BC		BS	
	1 - 2 d	>3 d	1 - 2 d	>3 d	1 - 2 d	>3 d	1 - 2 d	>3 d
Apariencia, %	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00	100,0	0,00	100,0
Respiratorio, %	81,00	19,00	79,00	21,0	60,00	40,0	86,00	14,00
Diarrea, %	92,00	8,00	86,00	12,0	81,00	19,0	79,00	21,00

AC=Terneas que nacieron sin anemia y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. AS= Ternea que nacieron sin anemia y no se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BC= Terneas que nacie anémicas y se les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas. BS= Terneas que nacieron anémicas y n les aplicó inyección intramuscular de hierro al tercer día de nacidas.

Fuente: Elaborado por los autores, 2025.

Respecto a las enfermedades respiratorias, las terneras del grupo AS presentaron más casos después del grupo BC, y el 21% requirió más de tres días de tratamiento. En cambio, las menores tasas de neumonía se registraron en los grupos AC y BS, siendo estas últimas las únicas que además mostraron síntomas de decaimiento.

Estos hallazgos son consistentes con estudios recientes, donde se ha evidenciado que concentraciones bajas de hierro sérico en terneros se asocian con una mayor susceptibilidad a enfermedades infecciosas. Por ejemplo, la administración de hierro dextrán ha demostrado reducir la incidencia de enfermedades respiratorias y digestivas en terneros durante las primeras semanas

de vida (Sickinger et al., 2024). Asimismo, la suplementación con complejos proteína-hierro mejora el estado inmunológico y los parámetros hematológicos, favoreciendo una mejor respuesta frente a patógenos (Kupczyński et al., 2017).

Sin embargo, algunos trabajos no encontraron efectos significativos del hierro sobre la salud. Heidarpour Bami et al. (2008) y Sickinger et al. (2024) concluyeron que ni la suplementación oral ni parenteral de hierro afectó significativamente la duración o frecuencia de enfermedades en terneros, lo que podría explicar la falta de diferencias claras en algunos grupos, especialmente en casos de neumonía.

En general, la deficiencia de hierro puede comprometer la respuesta inmunitaria, reduciendo la proliferación linfocitaria, la actividad fagocítica y la producción de interleucinas, inmunoglobulinas y otras moléculas inmunes clave (Muñoz et al. 2005; Cunningham et al. 2005). Esto explicaría por qué, en algunos tratamientos, los animales con menor disponibilidad de hierro presentaron una mayor tendencia a enfermarse o a tener enfermedades más prolongadas.

#### 4 CONCLUSIONES

La suplementación intramuscular con hierro incrementó los niveles séricos de hierro en las primeras dos semanas, la hemoglobina no mostró mejoras consistentes con una sola administración, lo que sugiere la necesidad de protocolos repetidos o una mayor ingesta dietaria y el hematocrito reflejó cambios relacionados tanto con la disponibilidad de hierro como con el estado de salud e hidratación de los animales.

La suplementación intramuscular con hierro no generó diferencias de peso inmediatas, pero sí mejora significativamente la ganancia corporal a partir del segundo mes, alcanzando diferencias de hasta 5 kg, esto respalda el uso estratégico de hierro intramuscular incluso en animales sin anemia manifiesta, como una acción temprana para maximizar crecimiento en sistemas lecheros.

Los resultados sugieren que la suplementación intramuscular de hierro en terneras no anémicas puede mejorar los parámetros de crecimiento, especialmente a partir de la octava semana de vida. No se observaron beneficios claros en animales anémicos, lo que podría indicar que su condición no alcanzó un umbral clínico relevante o que la respuesta al hierro depende de otros factores fisiológicos. Futuros estudios con mayor tamaño muestral y seguimiento hematológico más detallado permitirán esclarecer mejor estas interacciones.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo formó parte del proyecto de investigación 737-B5-188 inscrito en la Vicerrectoría de Investigación y del proyecto de acción social ED-2746 inscrito en la Vicerrectoría de Acción Social. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

## REFERENCES

- Allan, J., P. Plate and S. van Winden. 2020. *The effect of iron dextran injection on daily weight gain and haemoglobin values in whole milk fed calves*. *Animals* **10**(5):853. <https://doi.org/10.3390/ani10050853>
- Budny-Walczak, A., K. Śpitalniak-Bajerska, M. Szotysik, K. Pogoda-Sewerniak and R. Kupczyński. 2023. *Effects of iron supplementation on metabolism in calves receiving whole milk*. *Animals* **13**(3):477. <https://doi.org/10.3390/ani13030477>
- Büttner, K., J. Roth, A. Wehrend, T. Wittek and K. Donat. 2024. *Influence of an iron dextran injection on serum iron, ferritin, haemoglobin and health parameters in neonatal dairy calves*. *BMC Veterinary Research* **20**:379. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04229-y>
- Cohrs, A. C., R. C. Barden, E. C. L. Bleach and R. A. Laven. 2023. *Effects of iron supplementation in neonatal dairy calves on health and growth: A randomized field trial*. *Veterinary Record* **192**(4):e2657. <https://doi.org/10.1002/vetr.2657>
- Constable, P. D., K. W. Hinchcliff, S. H. Hechko and W. Gruenberg. 2016. *Veterinary Medicine*. 11<sup>a</sup> ed. Elsevier.
- Cui, K., Y. Tu, Y. C. Wang, N. F. Zhang, T. Ma and Q. Y. Diao. 2016. *Effects of a limited period of iron supplementation on the growth performance and meat colour of dairy bull calves for veal production*. *Animal Production Science* **57**(4):778–784. <https://doi.org/10.1071/AN15388>
- Cunningham, S., D. McNeeley and A. Moon. 2005. *Mechanisms of nutrient modulation of the immune response*. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* **115**(6):1119–1128. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2005.04.036>
- Egli, J. F., J. W. Blum and H. M. Hammon. 2006. *Iron metabolism and status in calves: importance of perinatal iron supply*. *Veterinary Journal* **171**(2):164–170. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.08.003>
- Figueredo, J. M., M. A. Abeledo y E. Vega. 2010. *Determinación de la prevalencia de anemia en terneros en un sistema de cría artificial*. *Revista Electrónica de Veterinaria* **11**(3):1–12.
- Golbeck, A. L., N. Kleinschmidt, M. K. Raulf and L. Bachmann. 2023. *Effects of oral or parenteral iron supplementation on haematological parameters, blood iron status and growth in newborn calves fed milk replacer*. *Veterinary Record* **192**(6):e3265. <https://doi.org/10.1002/vetr.3265>
- González-Garduño, R., F. L. Peña-Escalona, R. Hernández-Díaz, C. Luna-Palomera, E. J. Maldonado-Siman, E. J. Flores-Santiago and A. J. Chay-Canul. 2025. *Hematological changes in anemic dairy calves treated with a hematinic complex*. *Veterinary World* **18**(4):994–1001. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.994-1001>
- Heidarpour-Bami, M., M. Mohri, H. A. Seifi and A. A. Alavi-Tabatabaee. 2008. *Effects of parenteral supply of iron and copper on hematology, weight gain, and health in neonatal dairy calves*. *Veterinary Research Communications* **32**:553–561. <https://doi.org/10.1007/s11259-008-9058-6>
- Helder, L., E. H. Ieda, C. R. Jimenez, P. S. Corrêa, D. B. Moretti, C. McManus and W. P. Carvalho. 2020. *Effects of maternal dietary cottonseed on the profile of minerals in the testes of the lamb*. *Biological Trace Element Research* **197**:159–166. <https://doi.org/10.1007/S12011-019-01971-5>

Hunt, C. D. and F. H. Nielsen. 2009. *Nutritional aspects of minerals in bovine and human milks*. En: Fox, P. F. y P. L. H. McSweeney (Eds.), *Advanced dairy chemistry*. Vol. 3, pp. 391–456. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-84865-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-0-387-84865-5_10)

Ježek, J., M. Nemeč, J. Staric and M. Klinkon. 2011. *Age-related changes and reference intervals of haematological variables in dairy calves*. *Bulletin of the Veterinary Institute in Puławy* **55**:471–478.

Joerling, J. and K. Doll. 2019. *Monitoring of iron deficiency in calves by determination of serum ferritin in comparison with serum iron: A preliminary study*. *Open Veterinary Journal* **9**(2):177–184. <https://doi.org/10.4314/ovj.v9i2.14>

Kaneko, J. J., J. W. Harvey and M. L. Bruss. 2008. *Clinical biochemistry of domestic animals* (6<sup>a</sup> ed.). Academic Press.

Khaleghnia, N., M. Mohri and H. A. Seifi. 2021. *The effects of parenteral iron administration on thyroid hormones, hematology, oxidative stress characteristics, performance, and health in neonatal Holstein calves*. *Biological Trace Element Research* **199**:1823–1832. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02293-7>

Knoop, C., W. Krauss and R. Washburn. 1935. *The development of nutritional anemia in dairy calves*. *Journal of Dairy Science* **18**:337–347. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(35\)93154-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(35)93154-X)

Kupczyński, R., M. Bednarski, K. Śpitalniak and K. Pogoda-Sewerniak. 2017. *Effects of protein-iron complex concentrate supplementation on iron metabolism, oxidative and immune status in preweaning calves*. *International Journal of Molecular Sciences* **18**(7):1501. <https://doi.org/10.3390/ijms18071501>

Lieu, P. T., M. Heiskala, P. A. Peterson and Y. Yang. 2001. *The roles of iron in health and disease*. *Molecular Aspects of Medicine* **22**(1–2):1–87. [https://doi.org/10.1016/S0098-2997\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S0098-2997(00)00006-6)

Mann, G. R., S. E. Duncan, K. F. Knowlton, A. D. Dietrich and S. F. O'Keefe. 2013. *Effects of mineral content of bovine drinking water: Does iron content affect milk quality?* *Journal of Dairy Science* **96**(12):7478–7489. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7083>

Miltenburg, G. A., T. Wensing, H. J. Breukink and J. J. Marx. 1993. *Mucosal uptake, mucosal transfer and retention of iron in veal calves*. *Veterinary Research Communications* **17**(3):209–217. <https://doi.org/10.1007/BF01839169>

Mohri, M., S. Poorsina and R. Sedaghat. 2010. *Effects of parenteral supply of iron on RBC parameters, performance, and health in neonatal dairy calves*. *Biological Trace Element Research* **136**(1):33–39. <https://doi.org/10.1007/s12011-009-8514-7>

Mohri, M., F. Sarrafzadeh, H. A. Seifi and N. Farzaneh. 2004. *Effects of oral iron supplementation on some haematological parameters and iron biochemistry in neonatal dairy calves*. *Comparative Clinical Pathology* **13**:39–42. <https://doi.org/10.1007/s00580-004-0523-5>

Mohri, M., F. Sarrafzadeh and H. A. Seifi. 2015. *Effects of oral iron supplementation on haematocrit, live weight gain and health in neonatal dairy calves*. *Animal Production Science* **57**(4):778–784. <https://doi.org/10.1071/AN15388>

Moos, T., D. Trinder and E. H. Morgan. 2002. *Effect of iron status on DMT1 expression in duodenal enterocytes from  $\beta$ 2-microglobulin knock-out mice*. *American Journal of Physiology -*

Gastrointestinal and Liver Physiology **283(4):G687–G694.**  
<https://doi.org/10.1152/ajpgi.00346.2001>

Moosavian, H., M. Mohri and H. Seifi. 2010. *Effects of parenteral over supplementation of vitamin A and iron on hematology, iron biochemistry, weight gain, and health of neonatal dairy calves.* Food and Chemical Toxicology **48(5):1316–1320.** <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.02.030>

Muñoz, M., A. Campos, J. A. García and G. Ramírez. 2005. *Fisiopatología del metabolismo del hierro: implicaciones diagnósticas y terapéuticas.* Nefrología **25(1):9–19.** <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15789532>

Naylor, J. M., M. R. Woodbury and L. Petrie. 2021. *Iron deficiency in neonatal calves: causes, consequences and prevention.* Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice **37(1):1–14.** <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.11.001>

NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine). 2021. *Nutrient requirements of dairy cattle.* 8<sup>th</sup> rev. ed. National Academies Press.

Paez, P. A. 2010. *Comportamiento del metabolismo hem en neonatos bovinos bajo condiciones experimentales en trópico bajo* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7061>

Peeling, P., B. Dawson, C. Goodman, G. Landers, E. T. Wiegeler, D. W. Swinkels and D. Trinder. 2009. *Effects of exercise on hepcidin response and iron metabolism during recovery.* International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism **19(6):583–597.** <https://doi.org/10.1123/ijsnem.19.6.583>

Plate, P. 2023. *Iron-deficiency anaemia in calves and lambs: prevalence, diagnosis and response to supplementation.* Livestock **28(1):19–22.** <https://doi.org/10.12968/live.2023.28.1.19>

Prodanović, R., D. Kirovski, I. Vujanac, P. Dodovski, L. Jovanović and H. Šamanc. 2014. *Relationship between serum iron and insulin-like growth factor-I concentrations in 10-day-old calves.* Acta Veterinaria Brno **83(2):133–137.** <https://doi.org/10.2754/avb201483020133>

Renaud, D. L., T. F. Duffield, S. J. LeBlanc, D. B. Haley and D. F. Kelton. 2018. *Effect of hematocrit and serum total protein reference values on the diagnosis of failure of passive transfer in calves.* Journal of Dairy Science **101(1):858–864.** <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13296>

Salles, M. S. V., F. J. F. Figueiroa, F. F. Simili and A. Saran Netto. 2025. *Targeted selenium, vitamin E, and iron supplementation to boost nutrient retention and metabolism in calves with Anaplasma marginale challenge.* Tropical Animal Health and Production **57:247.** <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04480-x>

SAS Institute Inc. 2018. *SAS/STAT 15.1 User's guide.* Version 9.4 ed. SAS Institute Inc., Cary, N.C., USA.

Sickinger, M., J. Joerling, K. Büttner, J. Roth and A. Wehrend. 2024. *Influence of an iron dextran injection in various diseases on hematological blood parameters, including serum ferritin, neonatal dairy calves.* BMC Veterinary Research **20:379.** <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04229-y>

Stoffel, N. U. and H. Drakesmith. 2024. *Effects of iron status on adaptive immunity and vaccine response: A review.* Advances in Nutrition **15(6):100238.** <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100238>

Suárez, L., M. R. Garcia and E. Campos. 2021. *Iron deficiency alters mitochondrial respiration and ATP production in mammalian cells*. Journal of Nutritional Biochemistry **93**:108614. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2021.108614>

Trotz-Williams, L. A., K. E. Leslie and A. S. Peregrine. 2008. *Passive immunity in Ontario dairy calves and investigation of its association with calf management practices*. Journal of Dairy Science **91**(10):3840–3849. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0898>

Wang, Y., M. Jiang, Z. Zhang and H. Sun. 2020. *Effects of over-load iron on nutrient digestibility, haemato-biochemistry, rumen fermentation and bacterial communities in sheep*. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition **104**(1):32–43. <https://doi.org/10.1111/jpn.13225>

Welchman, D. B., O. P. Whelehan and A. J. F. Webster. 1988. *Hematology of veal calves reared in different husbandry systems and the assessment of iron deficiency*. Veterinary Record **123**(20):505–510. <https://doi.org/10.1136/vr.123.20.505>