



EFFECTO DE LA OFERTA DE LECHE EN ORDEN CRECIENTE/DECRECIENTE SOBRE EL CRECIMIENTO DE TERNERAS JERSEY

EFFECT OF MILK SUPPLY IN INCREASING/DECREASING ORDER ON THE GROWTH OF JERSEY CALF

Rodríguez, Fiorella. Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Heredia, Costa Rica.
fiore.sofia.rodriguez.quesada@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-1450-0490>

*Castillo-Umaña, Miguel. Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Heredia, Costa Rica.
miguel.castillo.umana@una.cr <https://orcid.org/0000-0001-8114-744X>

Alpizar-Naranjo, Andrés. Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Agrarias, Heredia, Costa Rica.
andres.alpizar.naranjo@una.cr <https://orcid.org/0000-0002-9612-4918>

Grajales-Cedeño, Joseph. Universidad de Panamá, Departamento de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Panamá. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência animal, Jaboticabal, UNESP, SP, Brasil.
joseph.grajales@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-1021-3945>

*Correo de Correspondencia: miguel.castillo.umana@una.cr

Recibido: 14/06/2024

Aceptado: 13/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.ia.v7n1.a6546>

RESUMEN. El objetivo de este estudio fue comparar los efectos de dos métodos de alimentación láctea en terneras Jersey. El experimento se llevó a cabo en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional, en Costa Rica, utilizando 16 terneras distribuidas en dos tratamientos. Uno de los tratamientos consistió en suministrar 4 litros de leche por día (CONV, n=8), mientras que el otro siguió el esquema de oferta de leche de forma creciente/decreciente (C/D, n=8), con variaciones semanales en la cantidad de leche administrada. Se evaluaron indicadores de consumo de nutrientes, productivos, sanitarios y económicos. Las terneras alimentadas con el método C/D alcanzaron mayores pesos corporales ($P<0.05$) a partir de la cuarta semana, con una mayor ganancia diaria de peso y estatura en comparación con el tratamiento convencional (CONV), a pesar de importantes variaciones individuales. Asimismo, las terneras C/D presentaron un menor puntaje fecal en la sexta semana, lo que indica una menor incidencia de diarrea ($P<0.05$). No se registraron mortalidades en ningún tratamiento. Además, el costo por kilogramo de ternera destetada fue menor en el grupo C/D (3.44 USD) en comparación con el grupo CONV (3.83 USD). En conclusión, el método C/D mejoró desempeño productivo, la salud y la eficiencia económica de las terneras, aunque la variabilidad individual en el consumo de alimentos fue un factor importante a considerar en la implementación de estrategias de manejo y nutrición.

PALABRAS CLAVE: bienestar animal, crecimiento, jersey, plano de nutrición, ternera lechera.

ABSTRACT. The objective of this study was to compare the effects of two milk-feeding methods on Jersey heifers. The experiment was conducted at the Santa Lucía Experimental Farm of the National University in Costa Rica using 16 heifers distributed across the two treatments. One treatment involved providing 4 liters of milk per day (CONV, n=8), while the other followed an increasing/decreasing milk offer scheme (C/D, n=8), with weekly variations in the amount of milk administered. Indicators of nutrient intake, productivity, health, and economic factors were evaluated. Heifers fed using the C/D method achieved higher body weights ($P<0.05$) starting from the fourth week, with greater daily weight gain and height than the conventional treatment (CONV), despite significant individual variations. Additionally, C/D heifers exhibited a lower fecal score in the sixth week, indicating a reduced incidence of diarrhea ($P<0.05$). No mortality was recorded in either of the treatment groups. Furthermore, the cost per kilogram of weaned heifers was lower in the C/D group (3.44 USD) compared to in the CONV group (3.83 USD). In conclusion, the C/D method improved productive performance, health, and economic efficiency of heifers, although individual variability in feed intake was an important factor to consider when implementing management and nutrition strategies.

KEYWORDS: animal welfare, growth, jersey, nutrition plan, dairy calf.

INTRODUCCIÓN

Los beneficios de alimentar a los terneros con mayores ofertas de leche están siendo cada vez más reconocidos por los productores, sin embargo, su aplicación en las propiedades lecheras todavía es escasa, debido a la complejidad de los factores que influyen en la toma de decisiones de las explotaciones (Svensson *et al.*, 2023). Actualmente, una amplia cantidad de investigaciones han demostrado las implicaciones de la nutrición temprana en la supervivencia y productividad futura de las novillas (Soberon *et al.*, 2012; Ahmadi *et al.*, 2022).

En la industria láctea tradicionalmente, las terneras son criadas con la adopción de programas de alimentación con leche o sustituto lácteo comúnmente denominado sistemas convencionales (Jasper y Weary, 2002), en donde se oferta una cantidad de leche restringida que normalmente oscila de 8 a 10% del peso corporal al nacer (3-6 L/d de forma constante hasta el destete). Sin embargo, esto perjudica el bienestar de los animales, en virtud de la presencia de hambre, demostrado por visitas no recompensadas y rápido consumo de leche (De Paula Vieira *et al.*, 2008; Rosenberger *et al.*, 2017), además de retrasar en el crecimiento y afectar el desarrollo de órganos (glándulas intestinales y mamarias), (Geiger *et al.*, 2016; Soberon y Van Amburgh, 2017).

En función de lo antes descrito surgieron otras alternativas con oferta de leche o sustituto lácteo (Azevedo *et al.*, 2023) como la oferta de leche *ad libitum* (Jasper y Weary, 2002; De Paula Vieira *et al.*, 2008), la alimentación con reducción de los volúmenes de leche (Khan *et al.*, 2007 a, b), programas de nutrición intensificada (Stamey *et al.*, 2012) o planos de nutrición líquida acelerada (Jafari *et al.*, 2020; Molenaar *et al.*, 2020; Rosadiuk *et al.*, 2021; Ivemeyer *et al.*, 2022) entre los cuales existen dos opciones; siendo una de ellas aumentar la concentración de dieta líquida con sólidos totales mayores a 12,5% y otra aumentar el contenido tanto de sólidos totales como el volumen de leche o sustituto lácteo simultáneamente (Chapman *et al.*, 2016). Sin embargo, una de las problemáticas de estos programas con ofertas de altos volúmenes de leche de forma constante, es el bajo consumo de concentrado, lo cual es fundamental para el desarrollo ruminal de los becerros y para un mejor desempeño productivo pre y post destete (Quigley *et al.*, 2018).

Como alternativas a estas problemáticas surgen métodos de ofertas de volúmenes de leche, conocidos como métodos step-up/step-down (Terré *et al.*, 2006, 2007; Omid-Mirzaei *et al.*, 2015; Ahmadi *et al.*, 2022; Valehi *et al.*, 2022), cuyo fundamento es aumentar las dosis de leche gradualmente hasta que se alcanza la cantidad máxima a mitad del periodo de alimentación (4 semana) para luego reducir la cantidades escalonadamente hasta los niveles más bajos en la última semana antes del destete con la intención de incrementar el consumo de concentrado, lo cual impacta positivamente en un mejor desarrollo ruminal además de mejor desempeño productivo (Omid-Mirzaei *et al.*, 2015).

Actualmente, pocas investigaciones se han realizado en Costa Rica sobre este tema en particular, y en el caso de la raza Jersey, la cantidad de estudios disponibles es limitada. Nuestra hipótesis se centra en la idea de que la administración de una dieta líquida con volúmenes de leche que varían de manera gradual (creciente y decreciente) podría tener un impacto positivo en el crecimiento, desarrollo y la salud de las terneras, en comparación con el método convencional, por lo que el objetivo de este estudio fue comparar los efectos de la cantidad de leche de un método

convencional (4 L/d) versus una oferta de leche con orden crecente/decreciente (C/D) sobre el desempeño, crecimiento y salud de terneras Jersey.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

El estudio se llevó a cabo en la Finca Experimental Santa Lucía de la Universidad Nacional ubicada en el distrito de Santa Lucía del cantón de Barva de Heredia. Ésta se encuentra localizada a 10° 1'30.36"N, 84° 6'43.36"O con una elevación de 1267 msnm. La finca se caracteriza por encontrarse en la zona de vida bosque húmedo premontano (INDER, 2016), con una temperatura media anual de 20.2 °C, con mínimas de 15.3 °C y máximas de 25.0 °C, humedad relativa 81.0 % y precipitación anual de 201.5 mm (IMN, 2018).

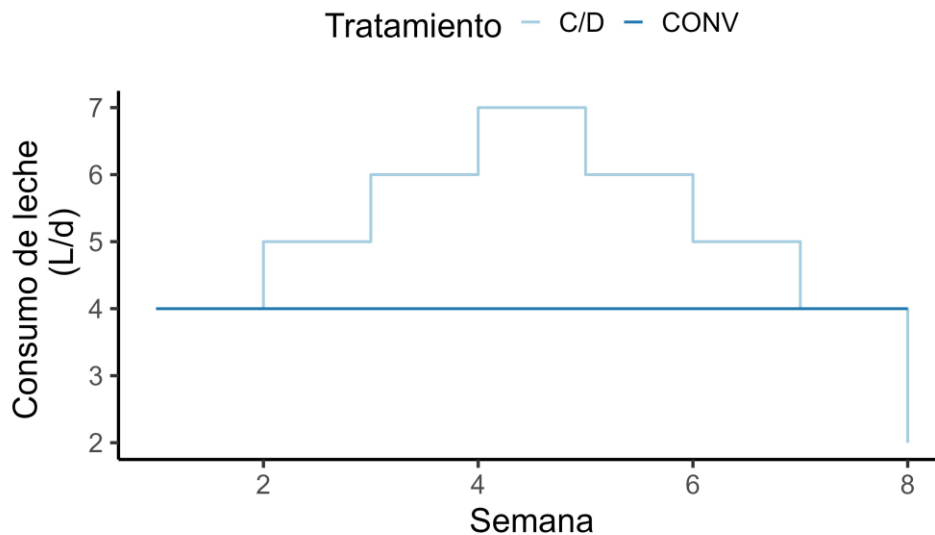
Animales y condiciones de alojamiento

Se utilizaron 16 terneras de raza Jersey, con un peso al nacimiento de 29.27±3.25 Kg. Durante los primeros tres días de vida, las terneras permanecieron en el área de maternidad junto a sus madres durante las 24 horas del día, recibiendo calostro como única fuente de alimento. Posteriormente, fueron separadas de sus madres y alojadas individualmente en cunas área de 3.3 m² por animal. Estas cunas estaban provistas de una cama de viruta de madera, la cual se renovaba cada semana para garantizar un entorno limpio y confortable.

Las terneras fueron distribuidas de manera aleatoria en dos tratamientos. El primer grupo, designado como C/D (n=8), recibió un régimen de alimentación con oferta de leche en cantidades crecientes y decrecientes. Este tratamiento consistió en la administración diaria de 4, 5, 6, 7, 6, 5, 4, 3 y 2 litros de leche durante las semanas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, respectivamente, lo que sumó un total de 273 L a lo largo del periodo experimental. El segundo grupo, denominado CONV (n=8), recibió una cantidad constante de 4 litros de leche por día durante las 8 semanas, alcanzando un total de 224 L. Los detalles del esquema de alimentación se ilustran en la figura 1.

Figura 1

Esquema representativo de la oferta de leche suministrada a las terneras según los tratamientos evaluados durante el periodo experimental.



Ambos grupos de terneras fueron alimentados mediante la administración de leche en dos tomas diarias, utilizando biberón: una en la mañana a las 08:00 horas y otra en la tarde a las 16:00 horas. El proceso de destete se realizó a las 8 semanas de vida (56 días).

Adicionalmente, se proporcionó a las terneras una dieta sólida compuesta por un concentrado peletizado y heno (*Digitaria decumbens* Stent., cv. Transvala) cuyo perfil nutricional se presenta en la Tabla 1. El suministro de agua fue *ad libitum*, asegurando su disponibilidad continua a lo largo del experimento.

Tabla 1

Composición bromatológica de la dieta sólida ofrecida durante el estudio.

Alimento	MS %	PC %	FND %	FDA %	FC %	EE %	ED Kcal	Ce %	Ca %	P %
Concentrado	87	20	-	-	8	5	3275	-	0.5	0.45
Heno	82.6	2.8	61.4	43.3	-	-	2050	7.8	-	-

Nota: MS: Materia seca; PC: Proteína cruda; FND: Fibra neutro detergente; FDA: Fibra detergente ácido; FC: Fibra cruda; EE: Extracto etéreo; ED: Energía digestible; Ce: Cenizas totales; Ca: Calcio; P: Fósforo.

Variables para evaluar

Consumo de alimento sólido

El consumo de alimento sólido, que incluye concentrado y heno, fue medido diariamente en cada tratamiento y para cada animal. Para estas mediciones, se utilizó una balanza (marca SACO,

precisión \pm 20 g). A cada ternera se le ofreció un kilogramo de alimento sólido, y luego de 24 horas se pesó la cantidad restante. La diferencia entre el peso inicial y el final se utilizó para determinar el consumo de alimento sólido diario. Con estos valores se determinaron los consumos de materia seca total y nutrientes en cada tratamiento, los cuales fueron contrastados con los requerimientos nutricionales según la NRC (2001) para estos animales.

Peso y crecimiento

Semanalmente, se registraron el peso corporal, la altura a la cruz y la altura a la cadera de cada ternera. El peso se midió mediante una balanza electrónica (marca TRU-TEST, precisión \pm 100 g) y las alturas con una regla de medición (marca Fiber-Glass, precisión \pm 1.0 mm). Para el pesaje, las terneras fueron colocadas individualmente en la balanza electrónica hasta obtener el valor correspondiente. Las mediciones corporales se realizaron siguiendo la metodología descrita por Khan *et al.* (2007b), con especial atención a la altura de la cadera y la cruz.

Salud

Se registró diariamente los escores de heces para la detección de la incidencia de diarreas. Para ello, se adaptó la metodología propuesta por McGuirk (2008), donde los escores de heces se clasificaron en: 0= consistencia normal (firme, de color parduzco, perineo y cola limpios y secos), 1= Pastosas (semi-formada), 2= Pastosa con mayor contenido de agua (permanece en la cama; con adherencia de heces al perineo y cola) y 3= líquida (contenido fecal acuoso adherido al perineo y la cola).

Análisis económico

Se llevó a cabo un análisis económico desde el nacimiento hasta los dos meses de edad para cada uno de los tratamientos, mediante un registro detallado de todos los costos asociados a la crianza de los animales. Estos costos incluyeron: cantidad de litros de leche, kilogramos de alimento balanceado, kilogramos de heno, mano de obra (calculada en función del salario base publicado por el Ministerio de Trabajo en el segundo semestre de 2019), depreciación de activos y gastos veterinarios. Los costos de cada tratamiento se expresaron en dólares.

Análisis estadístico

Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el software R con el entorno de desarrollo integrado RStudio [R versión 4.3.0 (2023-04-21), RStudio, Inc.]. En todas las pruebas estadísticas realizadas se consideró diferencias significativas cuando $P \leq 0.05$ y tendencia cuando $P > 0.05$ y ≤ 0.10 .

Para investigar el efecto de posibles asociaciones entre variables de crecimiento con consumo de los animales se realizó un análisis de componentes principales (PCA). Se consideraron asociaciones significativas cuando el valor de carga fue $\geq 0,50$ o $\leq -0,50$. El número óptimo de componentes principales a ser retenidos se determinó a través del análisis paralelo de Horn (Preacher y MacCallum, 2003).



Las variables de consumo de alimentos (concentrado, heno), consumo de nutrientes (materia seca, proteína curda, energía metabolizable), así como variables de crecimiento (estatura a la cruz y cadera) y desarrollo (peso y ganancia diaria de peso) fueron analizadas mediante modelos lineales mixtos a través del paquete “lme4” (Bates *et al.*, 2022). Para todas las variables antes descritas fueron utilizados los tratamientos, semanas de evaluación, así como su interacción como efectos fijos y el animal como efecto aleatorio.

El score de incidencia de diarreas fue evaluado a través modelos mixtos lineales generalizados (glmer) ajustado por distribución de Poisson, considerando como efectos fijos el tratamiento, semanas de evaluación, así como su interacción; y el animal como efecto aleatorio.

El mejor ajuste de los modelos adoptados para el análisis se realizó empleando el procedimiento 'step-up' con el Criterio de Información de Akaike y el Criterio de Información Bayesiano. Los supuestos de normalidad de los errores residuales en los modelos adoptados se realizaron con la prueba de Shapiro Wilks y el gráfico de cuantil-cuantil normal ('qqnorm{stats}') e histograma ('hist{stats}').

Se realizaron múltiples comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey y los resultados se reportan como medias ajustadas y errores estándar para cada tratamiento a lo largo de las semanas y en algunos casos se utilizaron gráficos para representar los datos según el caso.

RESULTADOS

Análisis de componentes principales

El análisis paralelo de Horn sugirió apenas la retención de tres componentes principales que en conjunto explicaron 77.98 de la varianza de los datos, siendo el PC 1 el más importante, explicando el 47.79 de la varianza total de los datos (Tabla 2), seguidos del PC 2 y PC3, los cuales explicaron 17.22 y 12.97 de la varianza respectivamente.

En el PC 1, el peso, estatura a la cruz, estatura a la cadera, consumo de concentrado y de heno estaban directamente asociados entre sí, con variación entre individuos entre los tratamientos (Figura 1). En el PC 2 las variables GDCRUZ, GDECAD y consumo de leche mostraron altos valores de carga positivos (Figura 1) y el PC 3 fue caracterizado por consumo de leche y ganancia diaria de peso (GDP), ambas variables asociadas entre sí (Tabla 2).

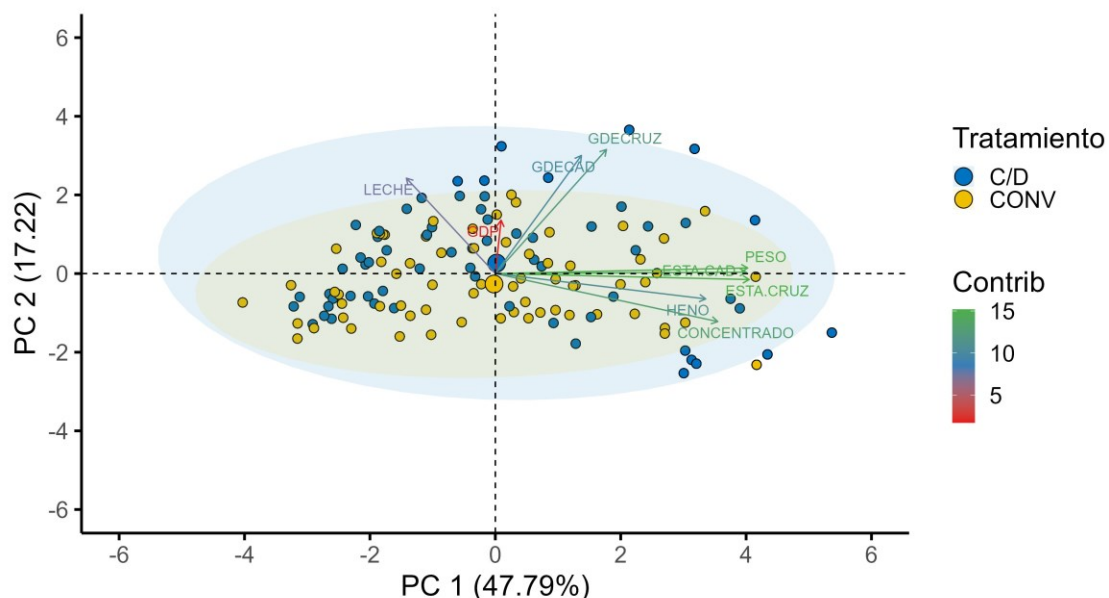
Tabla 2

Valores de carga, autovalores y varianza en variables de crecimiento, consumo de concentrado, heno y leche en terneras Jersey del tratamiento (C/D: volúmenes de dieta líquida con orden creciente/decreciente e CONV: volumen de dieta líquida de 4 litros por día) con base en el análisis de componente principales.

Ítem	PC 1	PC 2	PC 3
Peso corporal	0.94	0.03	-0.18
Ganancia diaria de peso (GDP)	0.02	0.32	-0.77
Estatura a la cruz (ESTA.CRUIZ)	0.94	-0.04	-0.08
Ganancia diaria de estatura a la cruz (GDECRUIZ)	0.41	0.73	0.26
Estatura a la cadera (ESTA.CAD)	0.93	0.01	-0.10
Ganancia diaria de estatura a la cadera (GDECAD)	0.32	0.70	0.46
Consumo de concentrado	0.83	-0.28	0.02
Consumo de heno	0.78	-0.15	-0.07
Consumo de leche	-0.33	0.56	-0.50
Autovalores	4.3	1.54	1.17
Varianza (%)	47.79	17.22	12.97

Figura 2

Gráfico biplot en variables de crecimiento, consumo de concentrado, heno y leche de 18 terneras Jersey del tratamiento C/D: volúmenes de dieta líquida con orden creciente/decreciente e CONV: volumen de dieta líquida de 4 litros por día para el primer y segundo componente principal (PC1 y PC2). Los círculos más pequeños indican variación individual, los círculos más grandes representan el centroide. Las elipses indican la concentración de los datos, las flechas indican los vectores de cada una de las variables con sus contribuciones.



Consumo de concentrado, heno y nutrientes

El consumo de concentrado mostró efecto significativo de la interacción entre el tratamiento y las semanas evaluadas ($P < 0.001$), siendo que las terneras del tratamiento CONV consumieron mayores cantidades de concentrado las semanas 5 y 6 en comparación con las del tratamiento C/D ($P < 0.05$; Tabla 3). Sin embargo, al destete (semana 8) las terneras del tratamiento O/D alcanzaron un mayor consumo de concentrado que las de CONV ($P < 0.05$; Tabla 3). El consumo de concentrado en los animales C/D aumentó significativamente a partir de la quinta semana de vida ($P < 0.05$). Entre tanto, en los animales CONV el consumo incremento significativamente a partir de la cuarta semana ($P < 0.05$; Figura 2).

Con relación al consumo de heno, no hubo diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$) ni tampoco de la interacción entre tratamiento y semanas ($P > 0.05$). Sin embargo, el consumo de heno difirió a lo largo de las semanas ($P < 0.001$), en donde las terneras de ambos tratamientos aumentaron significativamente ($P < 0.05$) el consumo de heno a partir de la cuarta semana de vida (Tabla 3).

Tabla 3

Media ajustada \pm error estándar del consumo semanal de concentrado, heno (Kg MS/día), materia seca (Kg), proteína (PC, Kg) y energía metabolizable (EM, Mcal/Kg) en terneras Jersey del tratamiento C/D= orden creciente y decreciente de leche y CONV= convencional.

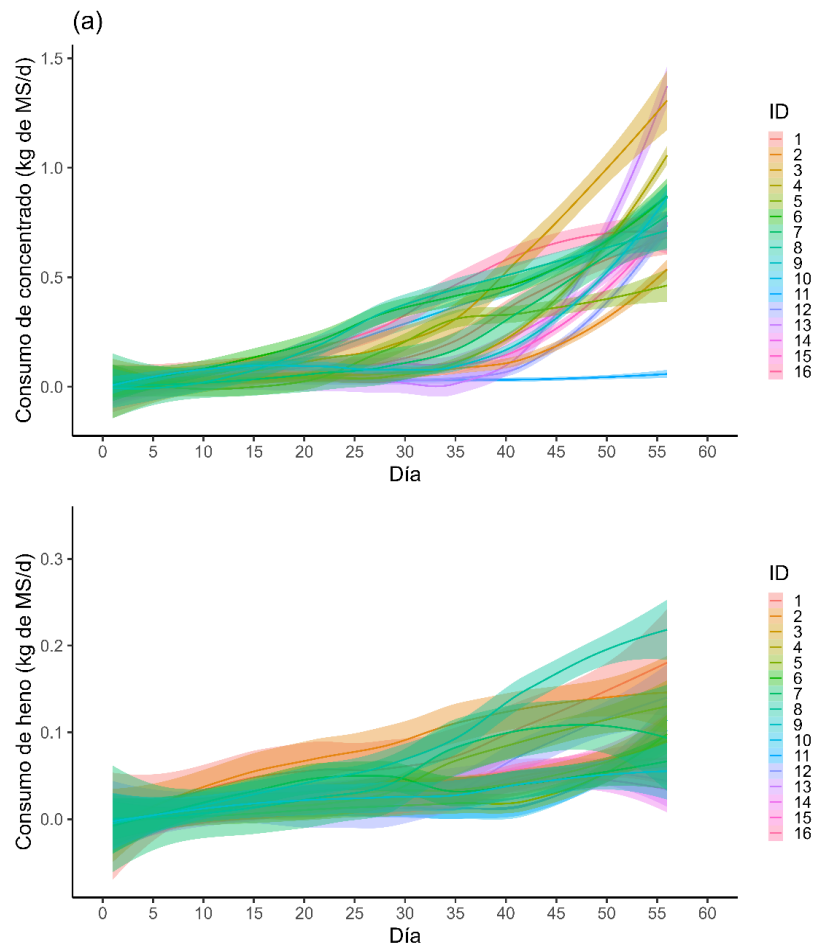
Tratamiento	Semanas								SEM	p-valor
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Consumo de concentrado (Kg de MS/d)										
C/D	0.01 ^{Ae}	0.06 ^{Ade}	0.06 ^{Ade}	0.07 ^{Ade}	0.10 ^{Bd}	0.20 ^{Bc}	0.42 ^{Ab}	0.80 ^{Aa}	0.04	<0.001
CONV	0.005 ^{Ag}	0.04 ^{Afg}	0.08 ^{Af}	0.16 ^{Ae}	0.25 ^{Ad}	0.32 ^{Ac}	0.39 ^{Ab}	0.57 ^{Ba}		
Consumo de heno (Kg de MS/d)										
C/D	0.002 ^d	0.01 ^{cd}	0.02 ^{cd}	0.02 ^c	0.03 ^c	0.05 ^b	0.07 ^{ab}	0.08 ^a	0.008	0.64
CONV	0.003 ^f	0.02 ^{ef}	0.03 ^{def}	0.03 ^{cd}	0.03 ^{cde}	0.04 ^{bc}	0.06 ^{ab}	0.08 ^a		
Consumo de materia seca total (Kg/d)										
C/D	4.17 ^{Ac}	5.13 ^{Acb}	6.30 ^{Ab}	7.46 ^{Aa}	6.90 ^{Aab}	6.68 ^{Aab}	7.13 ^{Aab}	8.07 ^{Aa}	0.32	<0.001
CONV	4.13 ^{Af}	4.36 ^{Aef}	4.72 ^{Bef}	5.29 ^{Bde}	5.77 ^{Bcd}	6.34 ^{Abc}	6.90 ^{Ab}	7.43 ^{Aa}		
Proteína cruda (Kg/d)										
C/D	0.16 ^{Ad}	0.24 ^{Ad}	0.29 ^{Ac}	0.35 ^{Ac}	0.36 ^{Ac}	0.44 ^{Ac}	0.68 ^{Ab}	1.05 ^{Ba}	0.06	<0.05
CONV	0.15 ^{Ae}	0.20 ^{Ade}	0.25 ^{Ade}	0.35 ^{Ac}	0.45 ^{Abc}	0.55 ^{Abc}	0.64 ^{Ab}	0.85 ^{Aa}		
Energía metabolizable (Mcal/Kg/d)										
C/D	22.2 ^{Ae}	26.4 ^{Ad}	32.5 ^{Abc}	38.5 ^{Aa}	34.9 ^{Ab}	31.8 ^{Abc}	31.0 ^{Ac}	33.8 ^{Ad}	1.07	<0.001
CONV	22.0 ^{Af}	22.6 ^{Bef}	23.7 ^{Bdef}	25.5 ^{Bcde}	27.0 ^{Bbcd}	28.7 ^{Bbc}	30.2 ^{Ab}	27.3 ^{Ba}		

Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento en cada semana ($P < 0.05$) y letras minúsculas sugieren diferencias significativas a lo largo de las semanas para cada tratamiento ($P < 0.05$). SEM = error estándar de la media.

El inicio del consumo de concentrado y heno se observó a partir del sexto día, con una notable variabilidad individual en los niveles de consumo. En particular, las terneras número 2 y 13 se destacaron por su elevado consumo de concentrado, superando los 1.0 Kg. En contraste, la ternera número 11 presentó un consumo mínimo o nulo tanto de concentrado como de heno.

Figura 3

Variación individual en el consumo diario de concentrado y heno (Kg de MS/d) de terneras Jersey durante el período de estudio.



Se observó un efecto significativo de la interacción entre el tratamiento y las semanas de observación en lo que respecta al consumo de materia seca ($P < 0.001$), proteína ($P < 0.05$) y energía metabolizable ($P < 0.001$). Las terneras sometidas al tratamiento C/D mostraron un consumo de materia seca estadísticamente superior en la tercera, cuarta y quinta semana de vida en comparación con las terneras bajo el tratamiento convencional ($P < 0.05$; Tabla 3).

En la octava semana (destete), se observó un aumento estadísticamente significativo en el consumo de proteína en el grupo de terneras C/D en comparación con el grupo CONV ($P < 0.05$; Tabla 3). Por otro lado, el consumo de energía metabolizable en el grupo C/D fue consistentemente superior a lo largo de las semanas en comparación con el grupo CONV ($P < 0.05$; Tabla 3), con excepción de la primera y séptima semana ($P > 0.05$).

Indicadores de desempeño productivo

En lo que respecta al peso corporal, se observó un efecto estadísticamente significativo de la interacción entre el tratamiento y las semanas ($P<0.001$). Se constató que las terneras del tratamiento C/D exhibieron pesos significativamente más elevados durante la cuarta, quinta, sexta y octava semana en comparación a las que recibieron el tratamiento CONV ($P<0.05$; Tabla 3).

De igual forma el análisis reveló que la ganancia diaria de peso se vio significativamente afectada por la interacción entre el tratamiento y las semanas de evaluación ($P<0.001$), en donde las terneras C/D exhibieron un incremento significativo en su ganancia de peso a lo largo de todas las semanas en comparación con las terneras del grupo CONV ($P<0.05$; Tabla 3). Sin embargo, es importante notar que este efecto no se observó en la quinta y sexta semana de vida ($P>0.05$).

En cuanto a la estatura a la cruz y a la cadera, también se observó un efecto significativo debido a la interacción entre el tratamiento y las semanas ($P<0.01$). No obstante, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ninguna de las semanas ($P>0.05$; Tabla 3).

Tabla 4

Media ajustada ± error estándar del peso corporal (Kg), ganancia diaria de peso (Kg/d), estatura a la cruz y cadera (cm) en terneras Jersey del tratamiento C/D= orden creciente y decreciente de leche y CONV= convencional de acuerdo con las semanas del estudio.

Tratamiento	Semanas								SEM	p-valor
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Peso corporal (Kg)										
C/D	29.8 ^{Ah}	33.4 ^{Ag}	39.0 ^{Af}	43.7 ^{Ae}	47.7 ^{Ad}	51.4 ^{Ac}	54.5 ^{Ab}	58.4 ^{Aa}	1.45	<0.001
CONV	28.7 ^{Ah}	31.6 ^{Ag}	35.1 ^{Af}	39.0 ^{Be}	42.7 ^{Bd}	47.0 ^{Bc}	51.4 ^{Ab}	54.0 ^{Ba}		
Ganancia diaria de peso (Kg/d)										
C/D	0.73 ^{Aab}	0.52 ^{Acd}	0.80 ^{Aa}	0.67 ^{Ab}	0.57 ^{Ac}	0.53 ^{Acd}	0.63 ^{Ad}	0.57 ^{Ac}	0.03	<0.001
CONV	0.43 ^{Bcde}	0.40 ^{Bde}	0.50 ^{Bbcd}	0.57 ^{Bab}	0.53 ^{Aabc}	0.60 ^{Aab}	0.43 ^{Ba}	0.38 ^{Be}		
Estatura a la cruz (cm)										
C/D	67.7 ^h	69.9 ^g	70.1 ^f	71.7 ^e	73.2 ^d	76.3 ^c	77.6 ^b	79.4 ^a	1.15	<0.001
CONV	68.5 ^h	68.9 ^g	71.1 ^f	72.5 ^e	73.9 ^d	75.4 ^c	77.7 ^b	79.0 ^a		
Estatura a la cadera (cm)										
C/D	69.9 ^h	71.3 ^g	72.5 ^f	73.8 ^e	75.2 ^d	78.2 ^c	79.0 ^b	81.0 ^a	18.9	0.007
CONV	69.8 ^h	71.5 ^g	72.7 ^f	74.2 ^e	75.5 ^d	77.8 ^c	79.4 ^b	80.7 ^a		

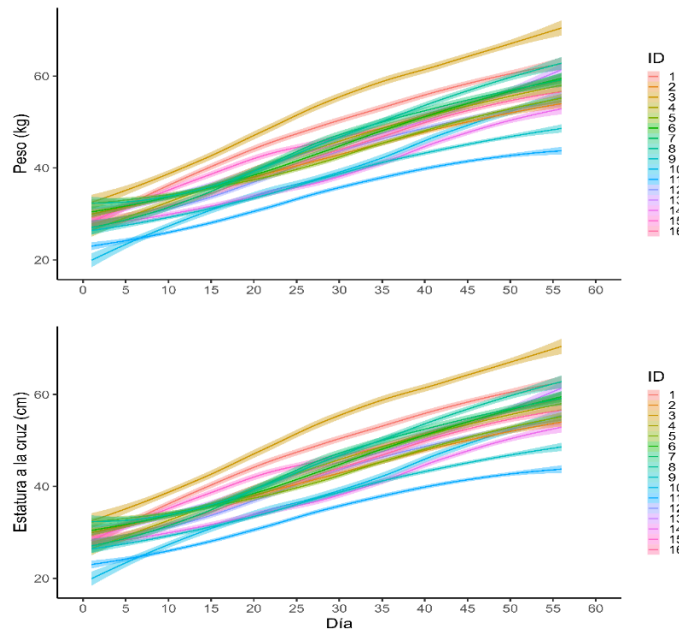
Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento en cada semana ($P<0.05$) y letras minúsculas sugieren diferencias significativas a lo largo de las semanas para cada tratamiento ($P<0.05$). SEM = error estándar de la media.

La figura 4 ilustra la notable variabilidad entre individuos en términos de peso y altura a la cruz, independientemente de los tratamientos aplicados. La ternera número 2 exhibió consistentemente el mayor peso y altura a lo largo del estudio. En contraste, la ternera número 11 mostró el peor desempeño, lo cual podría estar relacionado con su baja ingesta de nutrientes.



Figura 4

Variación individual en peso y crecimiento de las terneras Jersey a lo largo del periodo de estudio.

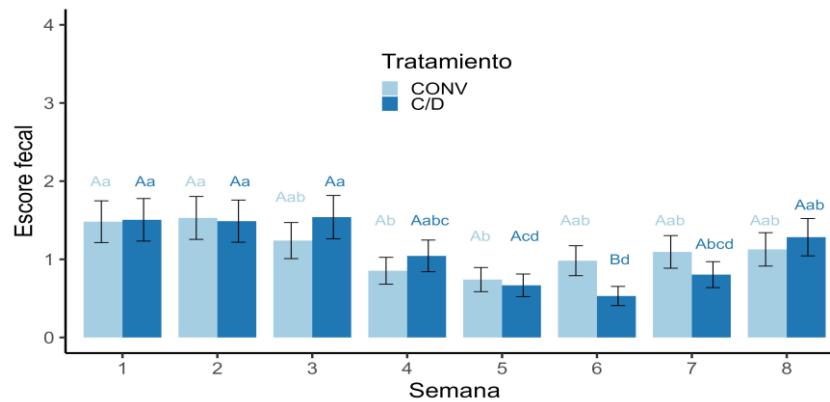


Salud

El escore de diarrea fue afectado de forma significativa por la interacción entre el tratamiento y la edad ($P < 0.05$). En la sexta semana las terneras CONV mostraron un escore de diarrea superior a C/D (Figura 4). En el tratamiento CONV, el escore de diarrea fue superior en las dos primeras semanas en relación con la cuarta y quinta semana ($P < 0.05$). A su vez, las terneras del tratamiento C/D mostraron menor escore de diarreas en las primeras cuatro semanas de vida que en la quinta y sexta semana ($P < 0.05$; Figura 5). Además, es importante destacar que, durante el estudio, no se registraron muertes entre las terneras en ninguno de los dos tratamientos.

Figura 5

Escore fecal de terneras Jersey del tratamiento (C/D= orden creciente y decreciente de leche y CONV= convencional) a lo largo de las semanas. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento en cada semana ($P < 0.05$) y letras minúsculas sugieren diferencias significativas a lo largo de las semanas para cada tratamiento ($P < 0.05$).



Análisis de costo-beneficio

El costo total de crianza por ternera aparece descrito en la (Tabla 5). Siendo el costo de mano de obra, depreciación y alimentación los rubros con mayor importancia en el total. El costo por kilo de ternera destetada fue de 3.44 y 3.83 dólares para el programa C/D y convencional, respectivamente. El tratamiento C/D fue más costoso debido a mayor inversión en alimentación y mano de obra, sin embargo, fue el más eficiente debido a que el costo de producir un kilogramo de ternera fue menor con respecto a CONV.

Tabla 5

Costo total de crianza (USD y %) por ternera para el tratamiento con volúmenes de dieta líquida con orden creciente/decreciente (C/D) y convencional (CONV) desde el nacimiento al destete.

Item	Tratamiento			
	Dólares (USD)		Porcentaje (%)	
	C/D	CONV	C/D	CONV
Leche (L)	15.97	13.50	13.76	12.48
Concentrado (Kg)	7.35	7.72	6.33	7.14
Heno (Kg)	0.48	0.46	0.41	0.43
Mano de obra	71.31	65.46	61.44	60.54
Depreciación	19.44	19.44	16.75	17.98
Insumos veterinarios	1.52	1.55	1.31	1.43
Total	116.07	108.13		

DISCUSIÓN

Consumo de concentrado y heno

El consumo de concentrado fue superior en las terneras del tratamiento CONV entre la quinta y sexta semana en relación con el C/D, lo que podría ser explicado por una mayor oferta de leche en tratamiento C/D en esas semanas, sin embargo, al destete ocurrió lo contrario, con las terneras del tratamiento C/D consumiendo 0.23 Kg más de concentrado en comparación al grupo CONV (0.80 vs 0.57 Kg respectivamente), resultado que puede ser explicado por el descenso en la oferta de leche que preparara a los terneros para un destete gradual y mejora en su desarrollo ruminal (Baldwin *et al.*, 2004; Khan *et al.*, 2011b; Valehi *et al.*, 2022), para mantener un buen crecimiento pre y post destete.

Nuestros resultados son apoyados por estudios que sugieren una relación inversa entre el consumo de alimentos sólidos antes del destete y el consumo de leche, lo que podría tener efectos adversos en el crecimiento durante la etapa predestete (Gelsinger *et al.*, 2016). En una revisión reciente, donde fueron considerados 47 estudios, fue informado que el 76% mostró un efecto negativo de una mayor oferta de leche en el consumo de concentrado antes del destete (Welk *et al.*, 2023). Por otro lado, numerosas investigaciones han corroborado que la reducción de la cantidad de leche a partir de las 4 semanas de edad puede incrementar la ingestión de alimento concentrado previo al destete, lo que, a su vez, contribuye a mantener el peso de los terneros tanto durante como después



del proceso de destete. Esto es especialmente relevante cuando los terneros son alimentados con altas cantidades de leche (Khan *et al.*, 2007a; Omid-Mirzaei *et al.*, 2015; Khani *et al.*, 2017; Benetton *et al.*, 2019; Ahmadi *et al.*, 2022). En consecuencia, estos hallazgos respaldan la adopción de sistemas de alimentación que ofrezcan alto volúmenes de leche de manera gradual.

Además, nuestro estudio muestra la gran variación individual en el consumo de concentrado, con una gran cantidad de animales C/D que superan 1 Kg diario de consumo. Por lo tanto, estos resultados son cónsonos con otros estudios que han reportado gran variabilidad en el consumo de concentrado (Benetton *et al.*, 2019). Al respecto indican que la variación en el consumo de ración antes del destete puede ser una estrategia para el manejo individualizado de los animales. Los resultados de este estudio también concuerdan con los estudios llevados cabo por De Passillé y Rushen, (2016), quienes reportan una gran variabilidad en la edad en que las terneras comienzan a consumir concentrado, con un rango de 23 a 82 días de edad para consumir 200 g de concentrado. A pesar de que el consumo de heno no difirió entre tratamientos, a partir del sexto día de vida, las terneras muestran consumos medibles con aumento gradual conforme transcurren los días, en particular a partir de la cuarta semana de vida, lo que concuerda con estudios que indican que los terneros comienzan a presentar comportamientos de pastoreo las primeras semanas de vida (Tedeschi y Fox, 2009).

Algunos estudios indican que la alimentación de terneras lecheras antes del destete con forraje (heno) disminuye el consumo inicial de alimento y materia seca (Hill *et al.*, 2008 a, b). Sin embargo, esto no fue evidenciado en nuestro estudio, debido a que el análisis de componentes principales sugirió que el consumo de concentrado estaba positivamente asociado con el consumo de heno. Esta oferta temprana de heno es benéfica para promover el desarrollo intestinal y el comportamiento de rumia en terneras tal cual como lo indica (Khan *et al.*, 2016). Además, estos mismos autores sugieren que tanto la forma física, así como la composición nutricional pueden afectar el desarrollo de las terneras.

Peso y crecimiento

Los resultados del estudio revelaron hallazgos significativos, particularmente en las terneras alimentadas con el tratamiento C/D, que mostraron un incremento notable en el peso corporal entre la cuarta y la sexta semana en comparación con las terneras alimentadas de manera convencional (CONV). Este aumento de peso podría estar asociado con un mayor consumo tanto de leche como de concentrado, lo que resultó en una mayor ingesta de materia seca durante este periodo crítico de crecimiento.

Es importante resaltar que las terneras del tratamiento C/D lograron duplicar su peso al nacimiento para el momento del destete. Este hecho se reflejó en pesos corporales significativamente superiores al destete, acompañados de un incremento notable en la ganancia diaria de peso, con un aumento de 4.4 Kg en el peso final y 0.19 Kg/día en comparación con las terneras CONV.

Los resultados de nuestro estudio son consistentes con los hallazgos de Omid-Mirzaei *et al.* (2015), quienes estudiaron dos regímenes de alimentación: un grupo CONV, que recibió 4 L/día de leche del día 1 al 52 y 2 L/día del día 53 al 56, y un grupo SUSL, que fue alimentado con un patrón creciente y decreciente de volúmenes de leche (6-10 L/día). Las terneras bajo el régimen SUSL mostraron un mayor consumo de materia seca y mayores ganancias diarias de peso en



comparación con el grupo CONV. De manera similar, Valehi *et al.* (2022), observaron que las terneras Holstein alimentadas con un esquema similar al SUSD también experimentaron mayores pesos corporales y ganancias diarias de peso en comparación con el grupo convencional, que recibió menores volúmenes de leche.

Ahmadi *et al.* (2022), también informaron que terneras alimentadas con mayores volúmenes de leche (8 L/día), en comparación con aquellas que recibieron 6 L/día, lograron un mayor peso corporal y ganancia diaria tanto en la etapa pre-destete como post-destete, independientemente de la frecuencia de alimentación. Además, estas terneras alcanzaron un peso 12.5 Kg superior al momento de la inseminación artificial y adelantaron el primer servicio en 7 días, con una tendencia a producir 1,195 ±556 Kg más de leche a 305 días.

En conjunto, estos hallazgos demuestran la eficacia de los programas de alimentación con altos volúmenes de leche en patrones crecientes y decrecientes, lo que puede tener implicaciones positivas para el crecimiento y desarrollo de terneras tanto a corto como a largo plazo. Aunque algunos estudios sugieren que un mayor aporte energético y proteico en las primeras semanas de vida mejora el crecimiento estructural y reduce los costos de crianza (Brown *et al.*, 2005), en nuestro estudio no se observaron diferencias significativas en el crecimiento estructural entre los tratamientos. Esto puede deberse a que las variaciones en la oferta de proteína cruda en el tratamiento C/D solo se introdujeron durante la octava semana, lo que probablemente no fue suficiente para generar diferencias evidentes.

Numerosos estudios han destacado la importancia crítica del adecuado crecimiento en terneras lecheras, señalando que el tipo de crecimiento antes del destete es un factor clave para la producción futura de leche. En particular, se ha observado que los terneros de menor estatura al destete presentan un menor potencial productivo y una menor probabilidad de mantenerse en el rebaño hasta alcanzar su primera lactancia (Van De Stroet *et al.*, 2016). Por lo tanto, resulta esencial la implementación de estrategias nutricionales que promuevan tasas óptimas de crecimiento y desarrollo durante esta fase crítica.

En este estudio, no solo se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos, sino que también se observó una notable variabilidad individual en el consumo de concentrado y heno, así como en el crecimiento y peso de las terneras. Estas variaciones individuales deben ser consideradas, ya que, además de las necesidades metabólicas y fisiológicas, las vacas presentan rasgos de personalidad, o temperamento, que influyen en sus comportamientos alimentarios y, por ende, en cómo satisfacen dichas necesidades (Han y Dingemans, 2015). Los rasgos de personalidad son factores subyacentes que juegan un papel crucial en diversos aspectos del comportamiento animal, incluida la selección de la dieta y los patrones de consumo de alimento (Meagher *et al.*, 2017; Neave *et al.*, 2018; Whalin *et al.*, 2022). Por lo tanto, es imprescindible considerar estas diferencias individuales a lo largo del ciclo productivo. De hecho, estudios previos sugieren que los terneros con comportamientos más exploratorios y activos tienden a iniciar el consumo de concentrado a una edad más temprana, lo que se traduce en un incremento sostenido en la ingesta de materia seca y una mayor ganancia diaria de peso (Neave *et al.*, 2018). En futuros estudios, será relevante investigar el impacto del temperamento en relación con diferentes programas de alimentación en terneras lecheras.

Salud

En cuanto a la incidencia de diarrea, se observó que, durante la sexta semana de vida, las terneras del grupo C/D presentaron un menor puntaje fecal en comparación con las del grupo control (CON), a pesar de que el consumo de leche fue superior en las terneras C/D durante esta semana. En términos generales, durante las primeras cuatro semanas, los animales exhibieron mayores puntajes fecales, lo cual es consistente con lo reportado por Silva *et al.* (2021), quienes indicaron que los casos de diarrea son más frecuentes entre la segunda y tercera semana de vida.

Nuestros resultados demuestran de manera consistente que ofrecer volúmenes elevados de leche (hasta 7 L/día) en terneras Jersey durante ciertas semanas no provocó episodios de diarrea, lo cual contrasta con otros estudios que utilizaron sistemas de alimentación con volúmenes crecientes o decrecientes de leche, y tampoco reportaron problemas de salud antes del destete (Omidi-Mirzaei *et al.*, 2015; Valehi *et al.*, 2022).

Costo de crianza hasta el destete

El incremento en la cantidad de leche suministrada a las terneras del grupo C/D (49 litros) en comparación con las del grupo convencional (CONV) resultó en un aumento del costo total de crianza hasta el destete, con una diferencia de 7.94 USD por animal. Sin embargo, es relevante señalar que el costo por kilogramo de peso vivo al destete fue 0.39 USD menor en las terneras del grupo C/D. Las variaciones en los costos de cría de terneras de reemplazo pueden explicarse, en parte, por las diferencias en los sistemas de manejo, como lo ha señalado previamente Hawkins *et al.* (2019).

Por su parte, Heinrichs *et al.* (2013), informaron que el costo de alimentación en 44 granjas oscilaba entre 29.06 USD y 259.17 USD por animal, con un costo total por ternera de 89.00 USD a 442.78 USD durante el período desde el nacimiento hasta el destete. Estas cifras ponen de relieve la amplia variabilidad en los costos de crianza, influenciados por factores como el manejo, la genética y el ambiente, lo que resalta la necesidad de evaluar no solo el costo total, sino también la relación entre inversión y eficiencia productiva.

CONCLUSIONES

Las terneras que fueron alimentadas mediante un programa de oferta de leche con orden creciente/decreciente (C/D) exhibieron un mayor consumo de concentrado al momento del destete. Asimismo, presentaron un mayor consumo de materia seca, lo que resultó en un incremento en su peso y ganancias diarias de peso al destete en comparación a las terneras CON. Además, es importante destacar que el costo por kilo de terneras destetadas fue menor en el grupo de terneras sometidas al tratamiento C/D en comparación con las terneras del grupo de control (CON).

Un factor de relevancia que merece ser considerado es la notable variabilidad individual que se observa tanto en el consumo de concentrado y heno como en los indicadores de productividad en las terneras. En consecuencia, es crucial prestar atención a las variaciones entre los individuos y, en función de esto, implementar medidas y estrategias de destete, e incluso considerar ajustes nutricionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadi, F., Akbarian-Tefaghi, M., jafari, A. y Ghaffari, M. H. (2022). Effects of different milk feeding levels and frequencies on performance of Holstein heifers during weaning and first lactation. *Scientific Reports*, 12(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22560-y>
- Azevedo, R. A., Lage, C. F. A., Silper, B. F., Diniz Neto, H. C., Quigley, J. D. y Coelho, S. G. (2023). Invited review: Total solids concentration in milk or milk replacer for dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 106(11), 7341–7351. <https://doi.org/10.3168/JDS.2023-23372>
- Baldwin, R. L., McLeod, K. R., Klotz, J. L. y Heitmann, R. N. (2004). Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and post-weaning ruminant. *Journal of Dairy Science*, 87(6), E55–E65. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70061-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70061-2)
- Bates, D., Maechler, B. B. M., Bolker, B. y Walker, S. (2022). Lme4: Linear Mixed-Effects Models Using ‘Eigen’ and S4. <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/lme4.pdf> (Access 21 November 2023).
- Benetton, J. B., Neave, H. W., Costa, J. H. C., von Keyserlingk, M. A. G. y Weary, D. M. (2019). Automatic weaning based on individual solid feed intake: Effects on behavior and performance of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 102(6), 5475–5491. <https://doi.org/10.3168/JDS.2018-15830>
- Brown, E.G., VandeHaar, M.J., Daniels, K.M., Liesman, J.S., Chapin, L.T., Keisler, D.H. y Nielsen, M.S. 2005. Effect of Increasing Energy and Protein Intake on Body Growth and Carcass Composition of Heifer Calves. *Journal of Dairy Science*, 88(2), 585-594. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72722-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72722-3)
- Chapman, C. E., Erickson, P. S., Quigley, J. D., Hill, T. M., Bateman, H. G., Suarez-Mena, F. X. y Schlotterbeck, R. L. (2016). Effect of milk replacer program on calf performance and digestion of nutrients with age of the dairy calf. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2740–2747. <https://doi.org/10.3168/JDS.2015-10372>
- De Paula Vieira, A., Guesdon, V., de Passillé, A. M., von Keyserlingk, M. A. G. y Weary, D. M. (2008). Behavioural indicators of hunger in dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 109(2–4), 180–189. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2007.03.006>
- de Passillé, A. M. y Rushen, J. (2016). Using automated feeders to wean calves fed large amounts of milk according to their ability to eat solid feed. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3578–3583. <https://doi.org/10.3168/JDS.2015-10259>
- Geiger, A. J., Parsons, C. L. M. y Akers, R. M. (2016). Feeding a higher plane of nutrition and providing exogenous estrogen increases mammary gland development in Holstein heifer calves. *Journal of Dairy Science*, 99, 7642–7653. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11283>
-

- Gelsinger, S. L., Heinrichs, A. J. y Jones, C. M. (2016). A meta-analysis of the effects of preweaned calf nutrition and growth on first-lactation performance. *Journal of Dairy Science*, 99(8), 6206–6214. <https://doi.org/10.3168/JDS.2015-10744>
- Han, C. S. y Dingemans, N. J. (2015). Effect of diet on the structure of animal personality. *Frontiers in Zoology*, 12(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-12-S1-S5/FIGURES/3>
- Hawkins, A., Burdine, K., Amaral-Phillips, D. y Costa, J. H. C. (2019). An Economic Analysis of the Costs Associated with Pre-Weaning Management Strategies for Dairy Heifers. *Animals*, 9(7), 471. <https://doi.org/10.3390/ANI9070471>
- Heinrichs, A. J., Jones, C. M., Gray, S. M., Heinrichs, P. A., Cornelisse, S. A. y Goodling, R. C. (2013). Identifying efficient dairy heifer producers using production costs and data envelopment analysis. *Journal of dairy science*, 96(11), 7355-7362. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6488>
- Hill, T. M., Bateman, H. G., Aldrich, J. M. y Schlotterbeck, R. L. (2008a). Effects of the Amount of Chopped Hay or Cottonseed Hulls in a Textured Calf Starter on Young Calf Performance. *Journal of Dairy Science*, 91(7), 2684–2693. <https://doi.org/10.3168/JDS.2007-0935>
- Hill, T. M., Bateman, H. G., Aldrich, J. M. y Schlotterbeck, R. L. (2008b). Effects of Feeding Different Carbohydrate Sources and Amounts to Young Calves. *Journal of Dairy Science*, 91(8), 3128–3137. <https://doi.org/10.3168/JDS.2007-0950>
- IMN. (2018). Mapa de Costa Rica. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/mapa>. 29-5-2019.
- INDER. (2016). *Informe de Caracterización Básica Territorio Barva-Santa Bárbara-San Isidro-San Rafael-Santo Domingo-Vara blanca* [versión Adobe Reader]. Recuperado de: https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_central/caracterizaciones/Caracterizacion-Barva-Santa-Barbara-San-Isidro-San-Rafael-Santo-Domingo-Vara-blanca.pdf. 29-5-1029
- Ivemeyer, S., Preußner, J., Haager, D., Simantke, C., Waldherr, P., Kull, K., Utz, G., Knierim, U. y Winckler, C. (2022). Impact of enhanced compared to restricted milk feeding on the behaviour and health of organic dairy calves. *Applied Animal Behaviour Science*, 252, 105655. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2022.105655>
- Jafari, A., Azarfar, A., Ghorbani, G. R., Mirzaei, M., Khan, M. A., Omidi-Mirzaei, H., Pakdel, A. y Ghaffari, M. H. (2020). Effects of physical forms of starter and milk allowance on growth performance, ruminal fermentation, and blood metabolites of Holstein dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 103, 11300–11313. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18252>
- Jasper, J. y Weary, D. M. (2002). Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 85, 3054–3058. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74391-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74391-9)

- Khan, M. A., Bach, A., Weary, D. M. y von Keyserlingk, M. A. G. (2016). Invited review: Transitioning from milk to solid feed in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 885–902. <https://doi.org/10.3168/JDS.2015-9975>
- Khan, M. A., D. M. Weary, and M. A. G. von Keyserlingk. (2011b). Invited Review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning and performance in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 94, 1071–1081. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3733>
- Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Kim, S. B., Ki, K. S., Ha, J. K., Lee, H. G., y Choi, Y. J. (2007a). Pre- and Postweaning Performance of Holstein Female Calves Fed Milk Through Step-Down and Conventional Methods. *Journal of Dairy Science*, 90(2), 876–885. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(07\)71571-0](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(07)71571-0)
- Khan, M. A., Lee, H. J., Lee, W. S., Kim, H. S., Ki, K. S., Hur, T. Y., Suh, G. H., Kang, S. J., y Choi, Y. J. (2007b). Structural Growth, Rumen Development, and Metabolic and Immune Responses of Holstein Male Calves Fed Milk Through Step-Down and Conventional Methods. *Journal of Dairy Science*, 90(7), 3376–3387. <https://doi.org/10.3168/JDS.2007-0104>
- Khani, M., Ahmadi, F., Ariana, M., Omidian, S., Sharifi, S., Ghaffari, M. y Beiranvand, H. (2017). Performance of Holstein calves receiving equal quantities of milk at fixed or variable amounts per day during milk-feeding period. *Animal*, 11(10), 1737-1744. <https://doi.org/10.1017/S1751731117000647>
- McGuirk, S.M. (2008). Disease Management of Dairy Calves and Heifers. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 24, 139-153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.003>
- Meagher, R. K., Weary, D. M. y von Keyserlingk, M. A. G. (2017). Some like it varied: Individual differences in preference for feed variety in dairy heifers. *Applied Animal Behaviour Science*, 195, 8–14. <https://doi.org/10.1016/J.APPLANIM.2017.06.006>
- Molenaar, A. J., Maclean, P. H., Gilmour, M. L., Draganova, I. G., Symes, C. W., Margerison, J. K. y McMahon, C. D. (2020). Effect of whole-milk allowance on liveweight gain and growth of parenchyma and fat pads in the mammary glands of dairy heifers at weaning. *Journal of Dairy Science*, 103(6), 5061–5069. <https://doi.org/10.3168/JDS.2019-17126>
- Neave, H. W., Costa, J. H. C., Weary, D. M. y von Keyserlingk, M. A. G. (2018). Personality is associated with feeding behavior and performance in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 101(8), 7437–7449. <https://doi.org/10.3168/JDS.2017-14248>
- NRC. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press.
- Omidi-Mirzaei, H., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Moshiri, B., Mirzaei, M., Pezeshki, A. y Ghaffari, M. H. (2015). Effects of the step-up/step-down and step-down milk feeding procedures on the performance, structural growth, and blood metabolites of Holstein dairy

- calves. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7975–7981. <https://doi.org/10.3168/JDS.2014-9260>
- Preacher, K. y MacCallum, R. (2003). Repairing Tom Swift's electric factor analysis machine. *Underst. Stat.*2(1), 13-43. https://doi.org/10.1207/S15328031US0201_02
- Quigley, J. D., Hill, T. M., Dennis, T. S., Suarez-Mena, F. X. y Schlotterbeck, R. L. (2018). Effects of feeding milk replacer at 2 rates with pelleted, low-starch or texturized, high-starch starters on calf performance and digestion. *Journal of Dairy Science*, 101, 1–12. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13851>
- Rosadiuk, J. P., Bruinjé, T. C., Moslemipur, F., Fischer-Tlustos, A. J., Renaud, D. L., Ambrose, D. J. y Steele, M. A. (2021). Differing planes of pre- and postweaning phase nutrition in Holstein heifers: I. Effects on feed intake, growth efficiency, and metabolic and development indicators. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 1136–1152. <https://doi.org/10.3168/JDS.2020-18809>
- Rosenberger, K., Costa, J. H. C., Neave, H. W., von Keyserlingk, M. A. G. y Weary, D. M. (2017). The effect of milk allowance on behavior and weight gains in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 100, 504–512. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11195>
- Stamey, J. A., Janovick, N. A., Kertz, A. F. y Drackley, J. K. (2012). Influence of starter protein content on growth of dairy calves in an enhanced early nutrition program. *J. Journal of Dairy Science*, 95, 3327–3336. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5107>
- Silva, J. T., Miqueo, E., Torrezan, T. M., Rocha, N. B., Slanzon, G. S., Virginio Júnior, G. F. y Bittar, C. M. M. (2021). Supplementation of lysine and methionine in milk replacer or starter concentrate for dairy calves in step-up/step-down feeding program. *Animals*, 11(10), 2854. <https://doi.org/10.3390/ANI11102854/S1>
- Soberon, F. y van Amburgh, M. E. (2017). Effects of preweaning nutrient intake in the developing mammary parenchymal tissue. *Journal of Dairy Science*, 100, 4996–5004. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11826>
- Soberon, F., Raffrenato, E., Everett, R. W. y van Amburgh, M. E. (2012). Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 95(2), 783–793. <https://doi.org/10.3168/JDS.2011-4391>
- Svensson, C., Hegrestad, A. L. y Lindblom, J. (2023). Dairy farmer and farm staff attitudes and perceptions regarding daily milk allowance to calves. *Journal of Dairy Science*, 106(10), 7220–7239. <https://doi.org/10.3168/JDS.2023-23499>
- Tedeschi, L. O. y Fox, D. G. (2009). Predicting milk and forage intake of nursing calves. *Journal of Animal Science*, 87(10), 3380–3391. <https://doi.org/10.2527/JAS.2009-2014>



- Terré, M., Devant, M. y Bach, A. (2006). Performance and nitrogen metabolism of calves fed conventionally or following an enhanced-growth feeding program during the preweaning period. *Livestock Science*, 105(1–3), 109–119. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2006.05.001>
- Terré, M., Devant, M. y Bach, A. (2007). Effect of level of milk replacer fed to Holstein calves on performance during the preweaning period and starter digestibility at weaning. *Livestock Science*, 110(1–2), 82–88. <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2006.10.001>
- Valehi, M. M., Ghorbani, G. R., Khorvash, M., Hashemzadeh, F., Rafiee, H. y Drackley, J. K. (2022). Performance, structural growth, and digestibility by Holstein calves fed different amounts of milk through step-up/step-down or conventional methods. *Journal of Dairy Science*, 105(5), 3988–3996. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21151>
- Van De Stroet, D. L., Calderón, J. A., Stalder, K. J. Heinrichs, A. J. y Dechow, C. D. (2016). Association of calf growth traits with production characteristics in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 99, 8347–8355. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10738>
- Whalin, L., Neave, H. W., Føske Johnsen, J., Mejdell, C. M. y Ellingsen-Dalskau, K. (2022). The influence of personality and weaning method on early feeding behavior and growth of Norwegian Red calves. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 1369–1386. <https://doi.org/10.3168/JDS.2021-20871>
- Welk, A., Otten, N. D. y Jensen, M. B. (2023). Invited review: The effect of milk feeding practices on dairy calf behavior, health, and performance—A systematic review. *Journal of Dairy Science*, 106(9), 5853–5879. <https://doi.org/10.3168/JDS.2022-22900>