

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS



**Efecto de la adición con un precursor gluconeogénico en vaquillas
Holstein sobre los parámetros hematológicos y condición corporal en
el norte de México**

Por:

Carla González Dimas

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

Efecto de la adición con un precursor gluconeogénico en vaquillas Holstein
sobre los parámetros hematológicos y condición corporal en el norte de México

Por:

Carla González Dimas

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:

Dra. Jessica María Flores Salas
Presidente

Dra. Julieta Ziomara Ordoñez Morales
Vocal

Dra. Viridiana Contreras Villarreal
Vocal

Dr. Oscar Angel García
Vocal suplente
MVZ. Eric Alejandro Reyes Ramírez
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS MÉDICO VETERINARIAS

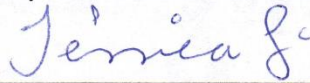
Efecto de la adición de un precursor gluconeogénico en vaquillas Holstein sobre los parámetros hematológicos y condición corporal en el norte de México

Por:
Carla González Dimas

TESIS
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



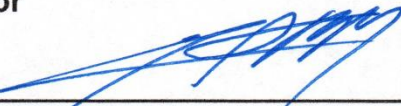
Dra. Jessica María Flores Salas
Asesor principal



Dra. Julieta Ziomara Ordoñez Morales
Coasesor



Dra. Viridiana Contreras Villarreal
Coasesor



MVZ. Eric Alejandro Reyes Ramírez
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



COORDINACIÓN DE LA
DIVISIÓN REGIONAL
DE CIENCIA ANIMAL

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, con enorme orgullo por brindarme un espacio en su comunidad y las herramientas necesarias para mi formación profesional.

A la Dra. Jessica María Flores Salas, por ser un ejemplo de profesionalismo y calidez humana. Gracias por su disposición de aclarar mis dudas y por el tiempo invertido.

Al Médico Erick Esquivel, por su disposición para compartir su conocimiento y su experiencia en el campo que fueron fundamentales para llevar este proyecto a buen término.

Al Doc. César Cancino Meza, por la confianza depositada en mi persona, así como el acceso a los recursos y conocimientos que hicieron posible este proyecto.

DEDICATORIA

A Dios, quien me brindó la inteligencia para comprender, la paciencia para perseverar y el aliento diario para no rendirme. En Él confío y a Él le debo la visión y la dirección para seguir adelante en mi camino profesional.

A mi madre, por ser el pilar inquebrantable de mi vida, por su amor incondicional y por los incontables sacrificios que me permitieron llegar hasta aquí. Este logro es, sin duda, una victoria compartida.

A mis hermanos, ustedes son la prueba de que el apoyo verdadero no conoce kilómetros, les agradezco su fe inquebrantable en mis capacidades, los amo profundamente.

A mis tías, gracias por siempre estar, por escucharme, abrazarme y celebrar cada uno de mis pasos.

A mi pareja, contar con tu amor, tu compañía y comprensión fueron fundamentales para que pudiera concluir esta etapa sin sucumbir a la presión. Eres el mejor equipo.

A mis amigos, gracias por la convivencia inolvidable que transformó un simple alojamiento en un hogar. Por las risas, las aventuras y por enseñarme cosas nuevas que enriquecieron mi vida. Su amistad hizo de la universidad una experiencia memorable.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE	iii
LISTA DE CUADROS.....	iv
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMEN.....	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
2.1 Gluconeogénesis.....	3
2.2 Balance Energético Negativo (BEN)	4
2.3 Importancia de la suplementación	5
2.4 Precusores Gluconeogénicos.....	5
2.5 Condición Corporal (CC).....	6
2.6 Parámetros hematológicos.....	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1 Ubicación.....	9
3.2 Animales de estudio.....	9
3.3 Variables evaluadas	10
3.4 Análisis estadístico.....	12
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1 Condición Corporal	13
4.2 Eritrocitos	16
4.3 Leucocitos	18
V. CONCLUSIONES.....	21
LITERATURA CITADA	22

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros de referencia en ganado bovino (Wood, 2022).....	7
Cuadro 2. Efecto del precursor gluconeogénico sobre la condición corporal promedio de vaquillas Holstein durante el periodo experimental.	13
Cuadro 3. Efecto del tiempo de evaluación sobre la condición corporal de vaquillas Holstein durante 90 días de estudio.	14
Cuadro 4. Interacción tratamiento - tiempo sobre la condición corporal de vaquillas Holstein suplementadas con un precursor gluconeogénico.	14
Cuadro 5. Efecto del precursor gluconeogénico sobre el recuento de eritrocitos en vaquillas Holstein.....	16
Cuadro 6. Efecto del tiempo de evaluación sobre el recuento de eritrocitos en vaquillas Holstein.....	17
Cuadro 7. Interacción tratamiento × tiempo sobre el recuento de eritrocitos en vaquillas Holstein suplementadas con un precursor gluconeogénico.	18
Cuadro 8. Efecto del precursor gluconeogénico sobre el recuento de leucocitos en vaquillas Holstein.....	18
Cuadro 9. Efecto del tiempo de evaluación sobre el recuento de leucocitos en vaquillas Holstein.....	19
Cuadro 10. Interacción tratamiento × tiempo sobre el recuento de leucocitos en vaquillas Holstein suplementadas con un precursor gluconeogénico.	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista satelital del establo	9
Figura 2. Vista general de los corrales de estabulación durante la fase experimental. Del lado izquierdo se observa el corral correspondiente al grupo testigo (control), mientras que del lado derecho se muestra a los animales bajo el tratamiento (grupo PG).....	10
Figura 3. Administración del aditivo gluconeogénico en el comedero y evaluación simultanea de la condición corporal en vaquillas Holstein de reemplazo.	11
Figura 4. Estimación de peso vivo en vaquillas Holstein de reemplazo mediante la medición del perímetro torácico con cinta bovimétrica.	11
Figura 5. Contención del animal y obtención de muestra sanguínea.....	12

RESUMEN

Efecto de la adición con un precursor gluconeogénico en vaquillas Holstein sobre los parámetros hematológicos y condición corporal en el norte de México.

Carla González Dimas

Para obtener el grado el título de Médico Veterinario Zootecnista

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dra. Jéssica María Flores Salas

El crecimiento de las vaquillas de reemplazo puede afectarse por variaciones en el estatus energético, lo que repercute en la condición corporal y en indicadores fisiológicos relacionados con la salud. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un precursor gluconeogénico sobre la condición corporal y parámetros hematológicos en novillas Holstein bajo condiciones comerciales del norte de México. El experimento se realizó durante 90 días en la Comarca Lagunera. Se utilizaron 100 vaquillas Holstein de 10 a 11 meses de edad, distribuidas aleatoriamente en dos grupos: Control ($n = 50$), alimentado con una dieta basal, y Suplementado ($n = 50$), que recibió la misma dieta más 35 g/animal/día de un precursor gluconeogénico compuesto por 1,2-propanodiol y propionato de calcio/sodio. La condición corporal se evaluó cada 15 días. Se obtuvieron muestras sanguíneas en 10 animales por grupo para determinar el perfil hematológico. La suplementación mejoró la condición corporal respecto al Control ($P < 0.05$) y favoreció una mayor estabilidad, alcanzando el valor más alto al día 90. El recuento total de eritrocitos no fue afectado por el tratamiento ($P > 0.05$), aunque presentó variaciones asociadas al tiempo. En contraste, el recuento total de leucocitos fue mayor en las vaquillas suplementadas que en el Control ($P < 0.05$), manteniéndose dentro de los rangos fisiológicos normales. Se concluye que la suplementación con un precursor gluconeogénico favorece la condición corporal y el recuento leucocitario basal, constituyendo una alternativa nutricional para mejorar el estatus energético e inmunológico de vaquillas Holstein de reemplazo.

Palabras clave: Propilenglicol, Propionato de calcio, Condición corporal, Hemograma, Novillas lecheras

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, se está generando un interés cada vez mayor por las fuentes de precursores gluconeogénicos como opciones energéticas alternativas al almidón (Rivera-Villegas et al., 2024), los cuales favorecen una productividad animal más eficiente, el consumo de este en vaquillas eleva su metabolismo, lo cual optimiza la utilización de nitrógeno y hace que el alimento sea digerido con mayor eficacia (Nafikova et al., 2021).

Un biomarcador se demarca como una sustancia producida por un tejido concreto que se puede hallar en la sangre, en los últimos años han sido incluidos como parte del diagnóstico y supervisión de múltiples enfermedades (Santiago et al., 2021).

Si bien cada componente de la sangre tiene una función importante y trabaja conjuntamente para un adecuado funcionamiento fisiológico, cualquier alteración en uno de los componentes puede llevar a una grave condición de salud (Shah et al., 2024).

A través del hemograma, es posible determinar la abundancia de las células del sistema inmune, la serie roja y los componentes plaquetarios circulantes, los cuales actúan como indicadores fidedignos del estatus sanitario del animal, por consiguiente, la estandarización y el análisis de los niveles basales de estos parámetros resulta fundamental ya que demuestra tener relación con la vida productiva útil (Siberski-Cooper et al., 2024).

En este estudio, se planteó la hipótesis de que la adición de propilenglicol en conjunto con propionato de sodio y calcio a la dieta de novillas Holstein de entre 10 y 11 meses durante 90 días tendrá un efecto sobre la condición corporal y parámetros hematológicos. Por lo tanto, el objetivo principal fue evaluar el efecto de dicho precursor gluconeogénico sobre la condición corporal y los parámetros hematológicos en novillas Holstein bajo condiciones comerciales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El ganado lechero a nivel mundial es una especie de relevancia debido a su producción, que no solo genera alimento para familias, sino que además es un pilar en la economía a nivel mundial, actualmente en el 2026, se producen 900 millones de toneladas de leche a nivel mundial (Ma et al., 2026).

La producción mundial de leche de bovino en 2023 se ubicó en un máximo histórico de 551.0 millones de toneladas (mt) y la producción de los principales derivados lácteos registró un máximo histórico de 43.2 mt, por otro lado, México registró un máximo histórico de 13,333 millones de litros, volumen que significó un incremento anual de 1.7% (FIRA, 2024).

En las principales entidades productoras el crecimiento fue de (SIAP, 2023):

- Jalisco 1.7 %
- Coahuila 2.0 %
- Durango 2.6 %
- Chihuahua 1.6%

En México, el sector de la leche es un elemento esencial de la economía agrícola del país, se distingue por una complicada cadena de suministros y de valor que realiza aportaciones económicas significativas (Vargas-Bello-Pérez et al., 2024)

Entre las razas altas productoras de leche se encuentra la raza Holstein-Friesian, la cual es conocida por su genética, capacidad de adaptación y notable producción, no obstante, estas ventajas, requieren de suplementos que contribuyan a optimizar su rendimiento, además del manejo, se requiere utilizar aditivos en la dieta que aporte mejoras a su condición corporal para enfrentar dichos objetivos (Ma et al., 2026; Xiang et al., 2025).

Las novillas de reemplazo representan las futuras unidades que proporcionarán ingresos en una explotación lechera, por lo cual su gestión y cuidado durante esta etapa preproductiva tienen un impacto directo en la

productividad y en la capacidad de estos animales para generar ingresos en su primera lactancia y las siguientes (Abuelo et al., 2021; Beard & Mann, 2026).

Una porción importante de la energía que consumen es utilizada para generar anticuerpos y proteínas del sistema inmunológico, lo cual, implica que hay menos energía disponible para el almacenamiento de tejido o la ganancia diaria promedio (ADG) (Rodriguez-Cordero et al., 2023).

2.1 Gluconeogénesis

La glucosa desempeña un rol crucial en múltiples procesos fisiológicos de las vacas lecheras de alta producción, estando estrechamente vinculada tanto con la síntesis de los componentes de la leche en la glándula mamaria como en el mantenimiento óptimo de la respuesta inmunitaria (Habel et al., 2022).

La gluconeogénesis (GNG) se consolida como un precursor metabólico vital y continuo, encargado de sintetizar glucosa de novo a partir de precursores sustratos que no son carbohidratos, tales como el propionato, el lactato, el glicerol y ciertos aminoácidos gluconeogénicos (Wang et al., 2025; Zakrzewski et al., 2026)

La ruta bioquímica de la GNG incluye la participación de varias enzimas fundamentales, entre las que se encuentran la piruvato carboxilasa (PC), la fosfoenolpiruvato carboxilasa citoplasmática (PEPCK1), la fosfoenolpiruvato carboxilasa mitocondrial (PEPCK2) y la glucosa-6-fosfatasa (G6PC) (Pang et al., 2023).

Esta compleja maquinaria enzimática actúa de manera coordinada con el tejido, facilitando significativamente la transferencia de átomos de carbono y la posterior liberación de la glucosa hacia el torrente sanguíneo para su distribución a la periferia (Hruby Weston et al., 2023).

De este modo, la producción a gran escala de los rumiantes depende críticamente del suministro continuo de glucosa hacia el tejido mamario, una demanda metabólica que es cubierta casi en su totalidad por el hígado mediante la activación de la GNG (Beckett et al., 2025).

Para asegurar la homeostasis y el concreto funcionamiento celular del organismo, los niveles de glicemia en sangre deben permanecer estrictamente regulados dentro de un rango fisiológico muy limitado (Litherland et al., 2025).

Bajo ese escenario metabólico el ganado lechero debe satisfacer hasta el 90 % de su requerimiento glucémico total por medio de la glucosa endógena (EGP), no obstante, esta capacidad de síntesis está condicionada y sujeta a la disponibilidad y provisión constante de sustratos esenciales en la dieta, principalmente ácidos grasos, aminoácidos y precursores propiónicos (Beckett et al., 2025; Wang et al., 2025).

Por lo tanto, una de las estrategias nutricionales y de manejo más fundamentales para cubrir las altas exigencias energéticas de las vacas lecheras consiste precisamente en optimizar la eficiencia de la síntesis hepática de glucosa (G. Y. Wang et al., 2023).

2.2 Balance Energético Negativo (BEN)

Durante la manifestación del BEN, los animales suelen experimentar una reducción drástica del consumo voluntario de pienso, una situación que impacta directamente sobre la fermentación, esto contribuye de manera significativa a una menor tasa de producción de propionato ruminal, y por consiguiente, compromete la disponibilidad y los niveles de la glucosa circulante en el torrente sanguíneo (Gao et al., 2021).

La reducción de pienso durante la etapa de transición provoca que las vacas no puedan cubrir sus requerimientos energéticos de mantenimiento y producción lo que con lleva un estado energético negativo que promueve la movilización de grasas y eleva los AGL, lo que genera apoptosis, estrés oxidativo y disfunción mitocondrial a nivel hepático (X. Wang et al., 2022).

Durante este estado su condición corporal (CC) se deteriora, aumenta el estrés metabólico y disminuye la fertilidad (Cakircali et al., 2023a)

Con el propósito de revertir este escenario, mediante el uso estratégico de aditivos alimentarios es posible optimizar y aumentar la producción de propionato en el rumen (Gao et al., 2021). Al ser este un sustrato gluconeogénico esencial,

su inclusión con un enfoque terapéutico y preventivo resulta clave para mitigar la severidad de los trastornos metabólicos asociados a la transición (X. Wang et al., 2022).

Finalmente, para comprender de manera integral la evolución y el impacto de estas alteraciones metabólicas en el organismo, resulta fundamental el monitoreo constante de la salud animal y la evaluación precisa de los parámetros bioquímicos séricos y hematológicos se consolida como una herramienta diagnóstica indispensable para medir la eficacia de las estrategias nutricionales implementadas (Ha et al., 2025).

2.3 Importancia de la suplementación

Para disminuir el impacto del balance energético negativo durante el periodo de transición y optimizar la productividad en los diferentes sistemas de explotación, resulta fundamental implementar una suplementación energética estratégica en las vacas lecheras, interviniendo en el déficit calórico característico de esta etapa crítica previa al parto (Grijalva & López, 2026).

Fisiológicamente, el rendimiento y la síntesis de componentes en la glándula mamaria dependen de la disponibilidad continua de nutrientes en el torrente sanguíneo, así el aporte constante de sustratos y la generación de energía mediante vías metabólicas interconectadas son factores determinantes que rigen el volumen de la producción láctea (Beckett et al., 2025).

2.4 Precursores Gluconeogénicos

Un precursor gluconeogénico se define como una sustancia bioquímica exógena o endógena que actúa como sustrato directo en la vía de la gluconeogénesis, haciendo posible la síntesis neta de la glucosa en el organismo (Tetrick & Odle, 2020). En el caso específico de los bovinos, debido a su particular fisiología digestiva, el propionato funciona como el precursor metabólico principal (Beckett et al., 2025). Este compuesto es absorbido a nivel ruminal y posteriormente empleado por el tejido hepático para la producción

endógena de la glucosa necesaria para cubrir las demandas energéticas (Shi et al., 2022).

El ganado vacuno lo aprovecha como fuente energética para crecer y mantenerse, así como también se piensa que su metabolismo en el hígado es un regulador importante de la ingesta de comida y del apetito en los animales (Rathert-Williams et al., 2023)

La adición de precursores como PG mejora la producción de leche y sus contenidos, así como también modifica los parámetros sanguíneos y bioquímicos, de este modo nos vemos beneficiados con el tema del BEN y el perfil de NEFA (Elshamy et al., 2025).

El propilenglicol (PG) es un precursor del propionato ruminal para la gluconeogénesis, y se usa para mejorar la adaptación metabólica en el periodo temprano después del parto (Cakircali et al., 2023b)

El propionato de calcio es una fuente de energía y calcio que contribuye a la corrección del déficit energético y la hipocalcemia, aumentando la producción de la leche (Zhang et al., 2022).

2.5 Condición Corporal (CC)

Una herramienta ampliamente aceptada es la puntuación del estado corporal (BCS), que es semicuantitativa, subjetiva y estandarizada (Kinzie et al., 2026).

Al utilizar esta herramienta, es posible evaluar objetivamente cómo la nutrición, la sanidad y otros factores del medio ambiente contribuyen al estado reproductivo general (Nazhat et al., 2021).

La altura (MHT), el índice de condición corporal (BCS) y el peso de las vacas adultas (MWT) son características que tienen un gran impacto económico y determinan en gran medida la rentabilidad del rebaño (Ojo et al., 2026).

En la práctica veterinaria y en el manejo de la salud del rebaño, el índice de condición corporal (ICC) se puede emplear para determinar con rapidez cuáles son los animales que necesitan ser aislados, examinados más a fondo,

recibir atención veterinaria adicional o ser sometidos a pruebas diagnósticas (Kinzie et al., 2026).

2.6 Parámetros hematológicos

Los parámetros hematológicos funcionan como indicadores clave del estado fisiológico, nutricional y sanitario de los rumiantes, es por ello, que se emplean frecuentemente en el diagnóstico clínico y el monitoreo de diversas patologías (Avinash et al., 2025; Tufarelli et al., 2023). Evaluando las alteraciones en la cantidad y distribución de células sanguíneas, como los leucocitos (WBC), eritrocitos (RBC) y plaquetas (PLS) (T. Yang et al., 2024).

Análisis estadísticos revelaron que la edad del animal influye de manera diferenciada en sus constantes sanguíneas, por un lado, incrementa significativamente los niveles de proteína conforme avanza la edad, mientras que, por otro lado, se identificó una tendencia decreciente significativa en los componente esenciales del hemograma, específicamente en la concentración de hemoglobina, los índices de leucocitos, el recuento plaquetario y el nivel de colesterol total y calcio (Enculescu et al., 2024; Kim et al., 2021, Kim et al.,2025; Kovačević et al., 2021).

Cuadro 1. Parámetros de referencia en ganado bovino (Wood, 2022).

Parámetro	Unidad	Referencia
Eritrocitos	106/ μ l	4.9 – 7.5
Hematocrito	%	21 – 30
Leucocitos	103/ μ l	5.1 – 13.3

Eritrocitos

Los glóbulos rojos también denominados eritrocitos, constituyen las células más abundantes e importantes en el torrente sanguíneo de los

mamíferos, en condiciones de salud y viabilidad celular, estas estructuras poseen una morfología característica de disco bicóncavo, una adaptación evolutiva diseñada específicamente para proporcionar la máxima superficie de contacto posible, lo cual optimiza los procesos dinámicos de difusión e intercambio de gases (Liu et al., 2025).

Dentro de la evaluación del perfil hematológico la determinación cuantitativa de la concentración de hemoglobina (HGB), el porcentaje de hematocrito (HCT) y el conteo total de los eritrocitos o glóbulos rojos (RBC) constituyen pilares fundamentales para el diagnóstico, clasificación y monitoreo de los diferentes tipos de anemia que pueden afectar al ganado (C. Yang et al., 2025).

Leucocitos

Los glóbulos blancos (GB), también llamados leucocitos, juegan un rol relevante en la defensa inmunitaria y están compuestos por varias subpoblaciones: los neutrófilos, los eosinófilos y los granulocitos; además de los basófilos, los monocitos y los linfocitos (Oematan, 2023; Wood, 2022).

Estas células se originan y maduran principalmente en la médula ósea, de modo que la concentración presente en el torrente sanguíneo presenta únicamente una fracción menor de la población leucocitaria total, bajo este panorama, el análisis cuantitativo de los leucocitos circulantes adquiere un valor diagnóstico significativo en la medicina de producción, ya que las fluctuaciones en sus niveles actúan como indicadores clave ante alteraciones homeostáticas (Wood, 2022).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El presente estudio se realizó durante un periodo de 90 días en un establo lechero con condiciones comerciales entre mediados de abril y mediados de julio del año 2025 en la Comarca Lagunera, México, localizada a una latitud $25^{\circ} 31' N$ y una longitud de $103^{\circ} 13' O$, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar (CONAGUA, 2023).



Figura 1. Vista satelital del establo

3.2 Animales de estudio

Se seleccionaron 100 vaquillas de la raza Holstein de entre 10 y 11 meses de edad y con una condición corporal promedio de 3.29, las cuales se dividieron al azar en 2 grupos: Control (n=50) y PG (Precursor Gluconeogénico, n=50).

El grupo PG recibió una suplementación oral de 35 gramos del precursor gluconeogénico (compuesto de 1,2-propanodiol y propionato de calcio/sodio) por

animal al día, mientras que el grupo Control no recibió suplementación. El total de las vaquillas durante la duración del experimento recibió una dieta acorde a la etapa que satisfacía los requerimientos nutricionales correspondientes, además de tener acceso libre al agua.



Figura 2. Vista general de los corrales de estabulación durante la fase experimental. Del lado izquierdo se observa el corral correspondiente al grupo testigo (control), mientras que del lado derecho se muestra a los animales bajo el tratamiento (grupo PG).

3.3 Variables evaluadas

La condición corporal (CC) fue evaluada por un solo operador capacitado utilizando una escala de 5 puntos (donde 1 = muy delgado y 5 = obeso) en incrementos de 0.25 puntos, de acuerdo con la metodología descrita por Ferguson, Galligan, and Thomsen (1994). Las evaluaciones se realizaron con intervalos de 15 días a partir del inicio del experimento, en los días 0, 15, 30, 45, 60, 75 y 90.

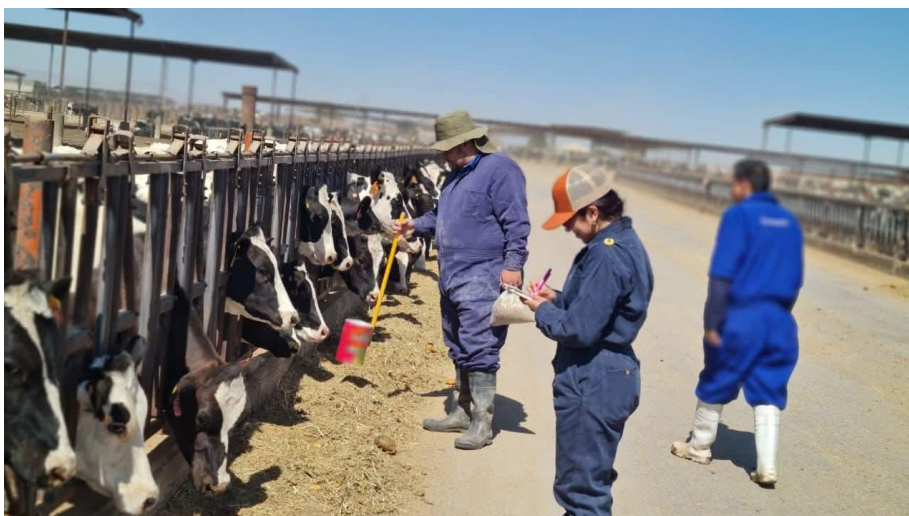


Figura 3. Administración del aditivo gluconeogénico en el comedero y evaluación simultánea de la condición corporal en vaquillas Holstein de reemplazo.



Figura 4. Estimación de peso vivo en vaquillas Holstein de reemplazo mediante la medición del perímetro torácico con cinta bovimétrica.

Para los parámetros hematológicos se tomaron muestras de sangre completa de 10 vaquillas por grupo seleccionadas al azar, en los días 0, 30, 60 y 90 del experimento. Las muestras se obtuvieron mediante venopunción coccígea

con aguja y tubos para muestra sanguínea con EDTA, con las cuales se realizó un hemograma completo para determinar los valores hematológicos mediante un analizador Vetscan HM5 (Zoetis, USA).



Figura 5. Contención del animal y obtención de muestra sanguínea.

Las variables hematológicas analizadas fueron: leucocitos totales, neutrófilos segmentados, linfocitos, relación neutrófilo:linfocito (N:L), fibrinógeno, hemoglobina, hematocrito y concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM).

3.4 Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó bajo el cumplimiento de los supuestos de normalidad estadística, verificando a través de la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los resultados del modelo estadístico para las variables de condición corporal (CC), eritrocitos y leucocitos se presentan desglosados por los efectos principales de tratamiento (PG vs Control), tiempo de muestreo (días 0,30, 60y 90) y la interacción entre ambos factores.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Condición Corporal

La evaluación de la CC demostró variaciones significativas debido al efecto del tratamiento ($P < 0.05$), donde las vaquillas suplementadas con el precursor gluconeogénico (Lipofeed) mantuvieron un promedio ligeramente superior en comparación con el grupo control (3.32 ± 0.03 vs 3.31 ± 0.03).

Cuadro 2. Efecto del precursor gluconeogénico sobre la condición corporal promedio de vaquillas Holstein durante el periodo experimental.

Variable	Tratamiento	Media $\bar{x}$ EE
CC	PG	3.32 ± 0.03^a
	Control	3.31 ± 0.03^b

a,b,c Medias con diferente literal dentro de la misma variable difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

EE = Error estándar de la media.

Este comportamiento valida la hipótesis de que la optimización en el suministro de sustratos energéticos exógenos impacta de manera directa sobre las reservas grasas corporales de los reemplazos. En rumiantes, optimizar la eficiencia de la síntesis hepática de glucosa mediante mezclas comerciales que integren compuestos como el 1,2-propanodiol (propilenglicol) y sales de propionato (calcio/sodio) favorece una mayor disponibilidad de energía metabólica periférica, lo que reduce la necesidad de movilizar tejido endógeno para cubrir las demandas de mantenimiento y desarrollo (Elshamy et al., 2025; Wang et al., 2025)

Respecto al efecto del tiempo, se detectaron diferencias significativas entre los periodos de evaluación. Los valores de condición corporal disminuyeron gradualmente desde el día 0 hasta el día 60, registrándose el valor más bajo en este último periodo (3.21 ± 0.06). Posteriormente, se observó una recuperación de la condición corporal, alcanzando el valor más alto al día 90 (3.34 ± 0.03).

Cuadro 3. Efecto del tiempo de evaluación sobre la condición corporal de vaquillas Holstein durante 90 días de estudio.

Variable	Tiempo (días)	Media $\bar{x}$ EE
CC	0	3,26 $\pm$ 0,04 ^a
	30	3,25 $\pm$ 0,03 ^{ab}
	60	3,21 $\pm$ 0,06 ^{ab}
	90	3,34 $\pm$ 0,03 ^b

a,b,c Medias con diferente literal dentro de la misma variable difieren estadísticamente (P < 0.05).

EE = Error estándar de la media.

Biológicamente, esta fluctuación intermedia coincide con la etapa de mayor tasa de crecimiento y demandas metabólicas en vaquillas de 10 a 11 meses, donde una porción considerable de la energía dietaría se desvía hacia funciones fisiológicas prioritarias como el desarrollo inmunológico y óseo, comprometiendo temporalmente la tasa de depósito lipídico en el tejido adiposo (Rodríguez-Cordero et al., 2023).

No obstante, la relevancia de la suplementación se hace evidente al analizar tratamiento – tiempo, que mostró que las vaquillas suplementadas mantuvieron una condición corporal relativamente estable durante el experimento y presentaron el valor más elevado al día 90 (3.40 $\pm$ 0.04). Por otro lado, el grupo Control registró la menor condición corporal al día 60 (3.13 $\pm$ 0.09), seguida de una recuperación al final del periodo experimental. Estos resultados sugieren que la suplementación con el PG favoreció el mantenimiento de las reservas corporales durante el crecimiento de las vaquillas.

Cuadro 4. Interacción tratamiento - tiempo sobre la condición corporal de vaquillas Holstein suplementadas con un precursor gluconeogénico.

Tratamiento	Tiempo (días)			
	0	30	60	90
PG	3,30 $\pm$ 0,05 ^{ab}	3,27 $\pm$ 0,04 ^{a-c}	3,30 $\pm$ 0,06 ^{ab}	3,4 $\pm$ 0,04 ^a
Control	3,23 $\pm$ 0,06 ^{bc}	3,23 $\pm$ 0,04 ^{bc}	3,13 $\pm$ 0,09 ^c	3,27 $\pm$ 0,04 ^{a-c}

a,b,c Medias con diferente literal dentro de la misma variable difieren estadísticamente (P < 0.05).

EE = Error estándar de la media.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Rivera-Villegas et al. (2024) y Cakircali et al. (2023), quienes afirman que la adición estratégica de propionato y propilenglicol mitiga los balances energéticos subclínicos y estabiliza el índice de condición corporal (ICC) bajo condiciones comerciales. La estabilización de la CC en esta etapa preproductiva es un factor crítico, ya que, como sostienen Kinzie et al. (2026) y Nazhat et al. (2021), un óptimo desarrollo corporal correlaciona positivamente con la fertilidad futura y la vida productiva útil al ingresar a su primera lactancia.

4.2 Eritrocitos

El recuento de eritrocitos no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$), observándose valores promedio de $7.19 \pm 0.12 \times 10^6/\mu\text{L}$ para el grupo suplementado con PG y de $7.11 \pm 0.10 \times 10^6/\mu\text{L}$ para el grupo Control, encontrándose ambos grupos dentro del rango normal de eritrocitos en ganado lechero ($4.9 \pm 7.5 \times 10^6/\mu\text{L}$) indicando que existe un buen estado de salud en general (Wood, 2022).

Cuadro 5. Efecto del precursor gluconeogénico sobre el recuento de eritrocitos en vaquillas Holstein.

Variable	Tratamiento	Media $\bar{x}$ EE
Eritrocitos ($\times 10^6/\mu\text{L}$)	PG	$7,19 \pm 0,12^a$
	Control	$7,11 \pm 0,10^a$

a,b,c Medias con diferente literal dentro de la misma variable difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

EE = Error estándar de la media.

Por el contrario, el efecto del tiempo resultó significativo ($P < 0.05$). El mayor recuento de eritrocitos se registró al día 60 ($7.70 \pm 0.15 \times 10^6/\mu\text{L}$), mientras que los valores observados en los días 30 ($6.81 \pm 0.17 \times 10^6/\mu\text{L}$) y 90 ($6.80 \pm 0.11 \times 10^6/\mu\text{L}$) fueron inferiores. El día 0 presentó valores intermedios ($7.29 \pm 0.10 \times 10^6/\mu\text{L}$). El hecho de que la adición del precursor gluconeogénico no alterara el conteo eritrocitario indica que el aditivo actúa a nivel del metabolismo energético e intermediario en el hígado, sin ejercer un efecto modulador directo sobre los mecanismos de eritropoyesis en la médula ósea ni sobre la estructura celular (Liu et al., 2025; C. Yang et al., 2025).

Cuadro 6. Efecto del tiempo de evaluación sobre el recuento de eritrocitos en vaquillas Holstein.

Variable	Tiempo (días)	Media $\bar{x}$ EE
Eritrocitos ($\times 10^6$ / μL)	0	7,29 $\pm$ 0,10 ^b
	30	6,81 $\pm$ 0,17 ^c
	60	7,70 $\pm$ 0,15 ^a
	90	6,80 $\pm$ 0,11 ^c

a,b,c Medias con diferente literal dentro de la misma variable difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

EE = Error estándar de la media.

La interacción tratamiento - tiempo mostró un comportamiento similar en ambos grupos experimentales. Tanto las vaquillas suplementadas como las del grupo Control presentaron un incremento en el recuento eritrocitario al día 60, seguido de una disminución al día 90. Estos resultados indican que las variaciones observadas estuvieron asociadas principalmente al efecto del tiempo y no a la suplementación con el PG. Estas variaciones temporales, al manifestarse de manera simultánea e independiente al aditivo en ambos grupos, confirman que los cambios estuvieron asociados principalmente a la dinámica interna de los animales a lo largo del periodo de evaluación y no a la suplementación con el precursor gluconeogénico. Como señalan Kovačević et al. (2021) y Tufarelli et al. (2023), los componentes de la serie roja en el ganado bovino experimentan fluctuaciones biológicas y variaciones homeostáticas normales debidas al desarrollo cronológico o a adaptaciones metabólicas basales del organismo en su búsqueda por mantener el equilibrio sistémico, sin que estos movimientos marginales representen un riesgo o compromiso patológico para la salud del hato.

Cuadro 7. Interacción tratamiento × tiempo sobre el recuento de eritrocitos en vaquillas Holstein suplementadas con un precursor gluconeogénico.

Tratamiento	Tiempo (días)			
	0	30	60	90
PG	$7,47 \pm 0,16$ ^{a-} _c	$7,00 \pm 0,33$ ^{cd}	$7,59 \pm 0,20$ ^{ab}	$6,69 \pm 0,18$ ^d
Control	$7,12 \pm 0,10$ ^{b-} _d	$6,61 \pm 0,10$ ^d	$7,81 \pm 0,21$ ^a	$6,91 \pm 0,13$ ^d

a,b,c Medias con diferente literal dentro de la misma variable difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

EE = Error estándar de la media.

4.3 Leucocitos

El recuento de leucocitos fue afectado por la suplementación con el PG ($P < 0.05$). Las vaquillas del grupo PG presentaron una concentración promedio de leucocitos superior a la observada en el grupo Control (12.06 ± 0.33 vs $11.02 \pm 0.33 \times 10^3/\mu\text{L}$). Es fundamental destacar que, a pesar de este incremento, los valores de ambos grupos se mantuvieron dentro de los parámetros normales de referencia fisiológica ($5.1 \pm 13.3 \times 10^3 \mu\text{L}$) reportados por Wood (2022), lo cual descarta la presencia de procesos infecciosos o leucocitosis patológicas en el rebaño.

Cuadro 8. Efecto del precursor gluconeogénico sobre el recuento de leucocitos en vaquillas Holstein.

Variable	Tratamiento	Media $\bar{x}$ EE
Leucocitos ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	PG	$12,06 \pm 0,33$ ^a
	Control	$11, 02 \pm 0,33$ ^b

a,b,c Medias con diferente literal dentro de la misma variable difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

EE = Error estándar de la media.

Asimismo, se observaron diferencias significativas debidas al tiempo de evaluación ($P < 0.05$). El valor más bajo se registró al día 30 ($10.75 \pm 0.44 \times 10^3/\mu\text{L}$), mientras que el mayor recuento se observó al inicio del experimento ($12.24 \pm 0.50 \times 10^3/\mu\text{L}$). Los días 60 y 90 presentaron valores intermedios. En el ganado bovino, el recuento de leucocitos disminuye con la edad, por lo que encontrar estos valores en terneras, que se encuentran dentro de rango alto

permitido, puede considerarse normal, sin asociarlo a algún problema que comprometa su salud (Wood, 2022).

Cuadro 9. Efecto del tiempo de evaluación sobre el recuento de leucocitos en vaquillas Holstein.

Variable	Tiempo (días)	Media $\bar{x}$ EE
Leucocitos ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	0	$12,24 \pm 0,50^a$
	30	$10,75 \pm 0,44^b$
	60	$11,97 \pm 0,39^{ab}$
	90	$11,20 \pm 0,53^{ab}$

a,b,c Medias con diferente literal dentro de la misma variable difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

EE = Error estándar de la media.

La interacción tratamiento - tiempo mostró que ambos grupos experimentales presentaron una disminución en el número de leucocitos al día 30, seguida de una recuperación parcial en los muestreos posteriores. Sin embargo, las vaquillas suplementadas mantuvieron consistentemente valores superiores de leucocitos respecto al grupo Control durante todo el periodo experimental. Esto demuestra que la optimización del plano energético mediante precursores gluconeogénicos ejerce un efecto protector e inmunomodulador sostenido a lo largo del tiempo, consolidándose como una herramienta valiosa de manejo nutricional en unidades de producción comercial (Siberski-Cooper et al., 2024; T. Yang et al., 2024).

Cuadro 10. Interacción tratamiento $\times$ tiempo sobre el recuento de leucocitos en vaquillas Holstein suplementadas con un precursor gluconeogénico.

Tratamiento	Tiempo (días)			
	0	30	60	90
PG	$12,78 \pm 0,50$ a	$11,40 \pm 0,49$ ab	$12,41 \pm 0,56^a$	$11,63 \pm 0,99$ ab
Control	$11,71 \pm 0,85$ ab	$10,10 \pm 0,70$ b	$11,52 \pm 0,53$ ab	$10,78 \pm 0,43$ ab

a,b,c Medias con diferente literal dentro de la misma variable difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

EE = Error estándar de la media.

Asimismo, se observó una ligera mejora en la condición corporal de las vaquillas suplementadas respecto al grupo Control. En contraste, el recuento de eritrocitos no fue afectado por el tratamiento, aunque presentó variaciones asociadas al tiempo de evaluación. Estos hallazgos indican que la suplementación con el PG tuvo un efecto diferencial sobre las variables evaluadas durante el periodo experimental.

V. CONCLUSIONES

La suplementación oral con 35 g/día de un precursor gluconeogénico compuesto por 1,2-propanodiol y propionato de calcio y sodio constituye una alternativa nutricional viable para vaquillas Holstein de reemplazo. La inclusión de este aditivo favoreció la estabilidad de la condición corporal durante el periodo de crecimiento, mitigando las fluctuaciones asociadas a las elevadas demandas metabólicas de esta etapa. Asimismo, incrementó el recuento total de leucocitos dentro de los rangos fisiológicos normales, lo que sugiere un efecto positivo sobre el estatus fisiológico de los animales. En contraste, la suplementación no modificó el recuento de eritrocitos, cuyas variaciones estuvieron asociadas principalmente al tiempo y a las condiciones ambientales. En conjunto, los resultados indican que el uso de este precursor gluconeogénico puede contribuir al mantenimiento del estatus energético y hematológico de vaquillas lecheras bajo condiciones comerciales. Se recomienda realizar estudios adicionales que evalúen su efecto sobre variables metabólicas, inmunológicas y productivas, con el fin de ampliar el conocimiento sobre sus mecanismos de acción y beneficios potenciales durante el desarrollo de las vaquillas.

LITERATURA CITADA

- Abuelo, A., Cullens, F., & Brester, J. L. (2021). Effect of preweaning disease on the reproductive performance and first-lactation milk production of heifers in a large dairy herd. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 7008–7017.
<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19791>
- Avinash, P., Aswani, K. K., & Punya, K. B. (2025). Assessment of age and sex variability on haematological parameters of indigenous Punganur cattle. *Indian Journal of Animal Sciences*, 95(11), 967–971.
<https://doi.org/10.56093/ijans.v95i11.158479>
- Beard, A. D., & Mann, S. (2026). From milk to maturity: The potential for lactocrine programming of heifer reproduction. *JDS Communications*, 7(1), 89–93. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2025-0842>
- Beckett, L. M., Kendall, S. J., Casey, T. M., Donkin, S. S., & White, H. M. (2025a). Invited review: Fueling milk production carbon by carbon—Regulation of hepatic glucose production in dairy cattle. En *Journal of Dairy Science* (Vol. 108, Número 11, pp. 11787–11801). Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.3168/jds.2025-26987>
- Beckett, L. M., Kendall, S. J., Casey, T. M., Donkin, S. S., & White, H. M. (2025b). Invited review: Fueling milk production carbon by carbon—Regulation of hepatic glucose production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 108(11), 11787–11801. <https://doi.org/10.3168/JDS.2025-26987>
- Cakircali, R., Karakaya-Bilen, E., Guner, B., Mecitoglu, Z., Ortac, C. T., Keskin, A., Orman, A., & Gümen, A. (2023a). Effects of daily propylene glycol drenching during the Ovsynch protocol on fertility and metabolic parameters in lactating dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 58(8), 1097–1103. <https://doi.org/10.1111/rda.14405>
- Cakircali, R., Karakaya-Bilen, E., Guner, B., Mecitoglu, Z., Ortac, C. T., Keskin, A., Orman, A., & Gümen, A. (2023b). Effects of daily propylene glycol drenching during the Ovsynch protocol on fertility and metabolic parameters in lactating dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals*, 58(8), 1097–1103. <https://doi.org/10.1111/rda.14405>
- Elshamy, M., El-Shenawey, A. M., Ahmed, H. A., Abdellatif, M., Ismail, T., & Hegazi, E. M. (2025). The Effect of Propylene Glycol and Chromium on The Productive Capacity of Dairy Cattle. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, 56(3), 643–659.
<https://doi.org/10.21608/EJVS.2024.281031.1982>
- Enculescu, M., Nicolae, I., & Bota, A. (2024). EFFECTS OF AGE ON THE HAEMATOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS IN ROMANIAN BUFFALO. *Buffalo Bulletin*, 43(3), 381–392.
<https://doi.org/10.56825/bufbu.2024.4335224>

- Gao, W., Fang, Z., Lei, L., Ju, L., Jin, B., Looor, J. J., Liang, Y., Shi, Z., Shen, T., Yu, H., Chen, M., Ouyang, H., Song, Y., Wang, Z., Liu, G., Li, X., & Du, X. (2021). Propionate alleviates palmitic acid–induced endoplasmic reticulum stress by enhancing autophagy in calf hepatic cells. *Journal of Dairy Science*, 104(8), 9316–9326. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19969>
- Grijalva, F. M. C., & López, J. R. G. (2026). Traditional and alternative energy supplements in Dairy cows. *Anatomía Digital*, 9(1), 60–81. <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v9i1.3576>
- Ha, S., Kang, S., Jung, M., Kim, S. B., Hwang, S., Lee, J., Kim, D., Choi, K. C., & Park, J. (2025). Changes in haematological and serum biochemical parameter concentrations from the day of calving to ketosis onset in Holstein dairy cows during the postpartum period. *Irish Veterinary Journal*, 78(8). <https://doi.org/10.1186/s13620-025-00293-4>
- Habel, J., Chapoutot, P., Koch, C., & Sundrum, A. (2022). Estimation of Individual Glucose Reserves in High-Yielding Dairy Cows. *Dairy 2022, Vol. 3, Pages 438-464*, 3(3), 438–464. <https://doi.org/10.3390/DAIRY3030033>
- Hruby Weston, A., Li, M. M., Huang, X., Campos, L. M., Prestegard-Wilson, J. M., Pilonero, T., Budde, A., & Hanigan, M. D. (2023). Effects of dietary starch and ruminally undegraded protein on glucogenic precursors in lactating dairy cows. *Animal*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100893>
- Kim, U. H., Kang, S. S., Park, M. S., & Ha, S. (2025). Complete blood count changes according to age and parity in pregnant Hanwoo beef cows one month before delivery. *Acta Veterinaria Hungarica*, 73(3), 180–185. <https://doi.org/10.1556/004.2025.01052>
- Kim, U. H., Lee, S. H., Cho, S. R., Kang, S. S., Jin, S., Ahn, J. S., & Lee, S. H. (2021). Hematological changes and reference intervals in hanwoo calves during the first 28 weeks of life. *Animals*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/ani11061806>
- Kinzie, P. R., Merritt, S., Lombe, B., Halbrook, M., Witte, D., Vakaniaki, E. H., Adam, S., Madidi L'k'ye, A., Mukadi, P. K., Mfwankang, M., Mona, J., Kanonge, D., Melofchik, C., Muyembe-Tamfum, J. J., Hoff, N. A., Hensley, L. E., Mbala-Kingebeni, P., Twabela, A., & Rimoin, A. W. (2026). Introduction of a standardized semi-quantitative body condition scoring system for cattle and pigs in the Democratic Republic of the Congo. *Veterinary and Animal Science*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2026.100601>
- Kovačević, V., Cincović, M. R., Belić, B., Đoković, R., Lakić, I., Radinović, M., & Potkonjak, A. (2021). Biological variations of hematologic and biochemical parameters in cows during early lactation. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 24(1), 119–125. <https://doi.org/10.24425/pjvs.2021.136800>

- Litherland, N. B., Dann, H. M., & Drackley, J. K. (2025). Prepartum nutrient intake alters glucogenic capacity of liver slices from periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 108(11), 12275–12284. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26613>
- Liu, H., Li, Y., Wang, Y., Zhang, L., Liang, X., Gao, C., & Yang, Y. (2025). Red blood cells-derived components as biomimetic functional materials: Matching versatile delivery strategies based on structure and function. En *Bioactive Materials* (Vol. 47, pp. 481–501). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2025.01.021>
- Ma, Q., Tharwat, M., Alshanbari, F. A., & Khan, M. Z. (2026). Heat Stress Effects on Milk Production and the Genomic Architecture of Thermotolerance in Dairy Cattle. En *Biology* (Vol. 15, Número 10). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/biology15100813>
- Nafikova, E., Mironova, I., Gazeev, I., Blagov, D., & Nigmatiyanov, A. (2021). The effect of an energy additive on the metabolism of cattle. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 85(3), 210. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8243801/>
- Nazhat, S. A., Aziz, A., Zabuli, J., Rahmati, S., Nazhat, S. A., Aziz, A., Zabuli, J., & Rahmati, S. (2021). Importance of Body Condition Scoring in Reproductive Performance of Dairy Cows: A Review. *Open Journal of Veterinary Medicine*, 11(7), 272–288. <https://doi.org/10.4236/OJVM.2021.117018>
- Oematan, G. (2023). Efficacy of concentrates containing tropical weed *Chromolaena odorata*, methionine hydroxy analog and palm oils in fattening male Bali cattle: A physiological study. *Journal of Applied and Natural Science*, 15(3), 1102–1108. <https://doi.org/10.31018/jans.v15i3.4697>
- Ojo, A. O., Mulim, H. A., Campos, M. A. F., Garcia, A., Retallick-Riley, K., Fonseca, P. A. S., & Oliveira, H. R. (2026). Genome-wide association study of mature cow size traits in American Angus cattle. *Mammalian genome : official journal of the International Mammalian Genome Society*, 37(1). <https://doi.org/10.1007/s00335-026-10226-3>
- Pang, R., Xiao, X., Mao, T., Yu, J., Huang, L., Xu, W., Li, Y., & Zhu, W. (2023). The molecular mechanism of propionate-regulating gluconeogenesis in bovine hepatocytes. *Animal Bioscience*, 36(11), 1693–1699. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0061>
- Panorama Agroalimentario*. (s/f).
- Rathert-Williams, A. R., McConnell, H. L., Salisbury, C. M., Lindholm-Perry, A. K., Lalman, D. L., Pezeshki, A., & Foote, A. P. (2023). Effects of adding ruminal propionate on dry matter intake and glucose metabolism in steers

- fed a finishing ration. *Journal of Animal Science*, 101.
<https://doi.org/10.1093/jas/skad072>
- Rivera-Villegas, A., Carrillo-Muro, O., Rodríguez-Cordero, D., Hernández-Briano, P., Sánchez-Barbosa, O. Y., Lazalde-Cruz, R., Castro-Pérez, B. I., & Plascencia, A. (2024). Effects of Supplemental Calcium Propionate and Concentrate Level: Growth Performance, Body Fat Reserves, and Health of High-Risk Beef Calves. *Veterinary Sciences*, 11(8).
<https://doi.org/10.3390/vetsci11080336>
- Rodriguez-Cordero, D., Carrillo-Muro, O., Hernandez-Briano, P., Rivera-Villegas, A., & Estrada-Angulo, A. (2023). Effect of Dietary Calcium Propionate Inclusion Level and Duration in High-Risk Newly Received Stocker Calves: Growth Performance, Body Fat Reserves, and Health. *Agriculture (Switzerland)*, 13(11).
<https://doi.org/10.3390/agriculture13112062>
- Santiago, G., Salinas, F. J., Cabaña, E., Stassi, A., Ortega, H. H., & Hein, G. J. (2021). ARTÍCULO ESPECIAL-REVISIÓN QUÉ Y PARA QUÉ?
- Shah, A., Srivastava, S., & Chaturvedi, C. P. (2024). Biomolecular Components of Blood and Their Role in Health and Diseases. *Clinical Applications of Biomolecules in Disease Diagnosis: A Comprehensive Guide to Biochemistry and Metabolism*, 289–322. https://doi.org/10.1007/978-981-97-4723-8_12/SAVE-RESEARCH
- Shi, S., Yang, W., Canada, A.-F., Peng Shang, C., Liu, H., & Zhan, K. (2022). Overexpression of GPR41 attenuated glucose production in propionate-induced bovine hepatocytes.
- Siap. (2023). *PRODUCCIÓN NACIONAL*. 10, 738.
- Siberski-Cooper, C. J., Mayes, M. S., Gorden, P. J., Kramer, L., Bhatia, V., & Koltes, J. E. (2024). The genetic architecture of complete blood counts in lactating Holstein dairy cows. *Frontiers in Genetics*, 15.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2024.1360295>
- Tetrick, M. A., & Odle, J. (2020). What constitutes a gluconeogenic precursor? *Journal of Nutrition*, 150(9), 2239–2241. <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa166>
- Tufarelli, V., Colonna, M. A., Losacco, C., & Puvača, N. (2023). Biological Health Markers Associated with Oxidative Stress in Dairy Cows during Lactation Period. En *Metabolites* (Vol. 13, Número 3). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/metabo13030405>
- Vargas-Bello-Pérez, E., Espinoza-Sandoval, O. R., Rodríguez-Piñeros, S., & Ghavipanje, N. (2024). Supply and value chain of the dairy industry in Mexico. *science Int. J. Agric. Nat. Resour*, 51(3), 219–230.
<https://doi.org/10.7764/ijanr.v51i3.2643>
- Wang, G. Y., Qin, S. L., Zheng, Y. N., Geng, H. J., Chen, L., Yao, J. H., & Deng, L. (2023). Propionate promotes gluconeogenesis by regulating mechanistic

- target of rapamycin (mTOR) pathway in calf hepatocytes. *Animal Nutrition*, 15, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.07.001>
- Wang, G., Zhu, Y., Feng, D., Yao, J., Cao, Y., & Deng, L. (2025). Hepatic gluconeogenesis and regulatory mechanisms in lactating ruminants: A literature review. En *Animal Research and One Health* (Vol. 3, Número 3, pp. 230–239). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/aro2.80>
- Wang, X., Zhu, M., Loo, J. J., Jiang, Q., Zhu, Y., Li, W., Du, X., Song, Y., Gao, W., Lei, L., Wang, J., Liu, G., & Li, X. (2022). Propionate alleviates fatty acid-induced mitochondrial dysfunction, oxidative stress, and apoptosis by upregulating PPAR γ coactivator 1 α in hepatocytes. *Journal of Dairy Science*, 105(5), 4581–4592. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21198>
- Wood, R. D. (2022). Hematology of Bovids. En *Schalm's Veterinary Hematology, Seventh Edition* (pp. 1004–1011). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119500537.ch111>
- Xiang, H., Dong, X., Lin, X., Hou, Q., & Wang, Z. (2025). Effects of Yeast Culture Supplementation on Milk Yield and Milk Composition in Holstein Dairy Cows: A Meta-Analysis. En *Animals* (Vol. 15, Número 21). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ani15213065>
- Yang, C., Li, D., Zhao, C., Zhang, X., Ouyang, N., Guo, Y., Feng, L., He, Y., Situ, B., Sun, D., & Zheng, L. (2025). Prediction of hemoglobin levels and red blood cell parameters using deep learning on blood smear images. *Intelligent Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.imed.2025.05.011>
- Yang, T., Luo, H., Lou, W., Chang, Y., Brito, L. F., Zhang, H., Ma, L., Hu, L., Wang, A., Li, S., Guo, G., & Wang, Y. (2024). Genetic background of hematological parameters in Holstein cattle based on genome-wide association and RNA sequencing analyses. *Journal of Dairy Science*, 107(7), 4772–4792. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24345>
- Zakrzewski, K., Żołnierkiewicz, O., Rachubik, P., Audzeyenka, I., Piwkowska, A., & Rogacka, D. (2026). Activation of phosphoenolpyruvate carboxykinase increases intracellular glucose levels in podocytes under hyperglycemic conditions. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Cell Research*, 1873(4). <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2026.120130>
- Zhang, F., Zhao, Y., Wang, Y., Wang, H., Guo, Y., & Xiong, B. (2022). Effects of calcium propionate on milk performance and serum metabolome of dairy cows in early lactation. *Animal Feed Science and Technology*, 283, 115185. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2021.115185>