

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS



Impacto de la suplementación con un compuesto probiótico-prebiótico en la salud de becerros Holstein Friesian durante la etapa pre y post-destete

Por:

América Vaquero Dedhó

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 BÁSICAS

Impacto de la suplementación con un compuesto probiótico-prebiótico en la salud
de becerros Holstein Friesian durante la etapa pre y post-destete

Por:

América Vaquedo Dedhó

TESIS

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

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:


Dr. Juan Manuel Guillén Muñoz
Presidente


Dr. Ramiro González Avalos
Vocal


MC. Karla Quetzalli Ramírez Uranga
Vocal


MC. Blanca Patricia Peña Revuelta
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 BÁSICAS

Impacto de la suplementación con un compuesto probiótico-prebiótico en la salud
de becerros Holstein Friesian durante la etapa pre y post-destete

Por:

América Vaquedo Dedhó

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Ramiro González Avalos
Asesor Principal



MC. Karla Quetzalli Ramírez Uranga
Coasesor



MC. Blanca Patricia Peña Revuelta
Coasesor



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



Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi sincero agradecimiento a **mis padres**, Alberta Dedhó Jahuey y Pedro Vaqueo Diego, por su amor, apoyo y respaldo incondicional a lo largo de mi formación.

A **mi hermana** Miriam Vaquero, José Diego Vaquero y Sandra Guadalupe Vaquero, agradezco por su compañía y motivación constante en momentos importantes de esta etapa de mi vida.

A **mis amigos**, Mirna Valencia, Leticia Vargas, Ana Salauz, Miriam Moreno y Alejandro Velázquez, por su apoyo y amistad en este proceso.

Agradezco a **César Canjay** por su valioso apoyo y cariño a lo largo de este proceso.

A la **M.C. Karla Quetzalli Ramirez Uranga** y al **Dr. Ramiro González Ávalos**, por el interés que mostraron en este proyecto. Su experiencia y sus observaciones me permitieron fortalecer ampliar mi perspectiva en distintos aspectos de la investigación. De igual manera, agradezco profundamente el apoyo personal y la disposición que siempre mostraron, brindándome confianza, motivación y acompañamiento durante este proceso.

De igual manera, agradezco a la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por haber sido el espacio donde pude adquirir conocimientos, desarrollar nuevas habilidades y vivir experiencias que contribuyeron a mi formación profesional. Ser parte de esta institución representó una oportunidad importante para mí crecimiento académico y personal.

DEDICATORIA

A **mis padres**, Alberta Dedhó Jahuey y Pedro Vaqueo Diego, a quienes dedico este logro con profundo amor y gratitud. Su apoyo incondicional, sus valores y su constante motivación han sido el pilar fundamental en mi formación personal y académica.

A **mis hermanos**, Miriam Vaquero, Sandra Guadalupe Vaquero y José Diego Vaquero, por su compañía, comprensión y aliento a lo largo de este camino a pesar de la distancia, fueron mi inspiración para alcanzar mis metas.

A **mi sobrina**, Joana Flores con mucho cariño, deseo que este paso que hoy doy te inspire a conquistar tus propios proyectos académicos y personales.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
RESUMEN	v
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Importancia de la carne bovina y su aporte mundial de proteína.....	5
2.2. Relevancia global del sector cárnico	6
2.3. Sistemas de crianza artificial.....	7
2.4. Crianza artificial como estrategia productiva.....	8
2.5. Intercambio materno-fetal a través de la placenta bovina	9
2.6. Calostro y transferencia de inmunidad	11
2.7. Desarrollo del sistema inmunológico del becerro	13
2.8. Anatomía y fisiología del sistema digestivo del becerro	14
2.9. Consumo de leche entera, sustituto de leche y leche con antibiótico	15
2.10. Alimentación	16
2.11. Concentrado iniciador	17
2.12. Adaptación del rumen al destete en becerros	19
2.13. Metabolismo y función ruminal en becerros en transición	20
2.14. Transición alimentaria y estabilidad microbiana del rumen	21
2.15. Uso de probióticos y prebióticos en becerros	24
2.16. Diarrea neonatal y sus efectos productivos	26
2.17. Neumonía en becerros	27
2.18. Buenas prácticas para reducir problemas gastrointestinales	30
2.19. Salud y desempeño en becerros	31

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1. Ubicación geográfica.....	33
3.2. Diseño experimental.....	33
3.3. Manejo general	34
3.4. Variables	36
3.5. Análisis estadístico	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. Incidencia de enfermedades digestivas, respiratorias y mixtas	39
4.2. Supervivencia	42
5. CONCLUSIONES.....	47
6. REFERENCIAS	48

RESUMEN

Los becerros en las etapas pre y post-destete son altamente susceptibles a enfermedades digestivas y respiratorias, lo que compromete su salud, supervivencia y desarrollo. En este contexto, los probióticos y prebióticos se han propuesto como alternativas para mejorar la salud intestinal y favorecer el equilibrio de la microbiota del sistema digestivo. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el impacto de la suplementación con un compuesto probiótico-prebiótico en la salud de becerros Holstein Friesian durante la etapa pre y post-destete. Para ello se utilizaron 10 becerros Holstein Friesian machos alimentados con sustituto de leche, distribuidos bajo un diseño en bloques completos al azar en dos tratamientos: T1 (testigo, sin suplementación) y T2 (suplementado con 10 g/día del compuesto probiótico-prebiótico). Se evaluó la incidencia de enfermedades digestivas, respiratorias y mixtas, y la supervivencia. La totalidad de los becerros presentó enfermedad digestiva (100 %) en ambos grupos, mientras que la incidencia de enfermedad respiratoria y mixta fue del 60 % en cada tratamiento. La supervivencia final fue del 60 % en ambos grupos, sin diferencias significativas entre tratamientos ($P > 0.05$). Bajo las condiciones de este estudio, la suplementación con el compuesto probiótico-prebiótico no mejoró la salud ni la supervivencia de los becerros, lo que sugiere que otros factores relacionados con el estado sanitario, el ambiente y el manejo ejercieron una mayor influencia que el aditivo evaluado.

Palabras clave: Neonatos, enfermedad, crianza, desarrollo, inmunoglobulinas, calostro.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis químico nutricional del concentrado iniciador.	35
Cuadro 2. Análisis químico nutricional del heno de alfalfa.	35
Cuadro 3. Incidencia de enfermedades digestivas, respiratorias y mixtas en becerros Holstein Friesian de los grupos testigo (T1) y suplementado (T2).	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transporte de inmunoglobulinas en el intestino delgado del becerro. Fuente: elaboración propia.	13
Figura 2. Anatomía y fisiología del becerro. Fuente: elaboración propia.	15
Figura 3. Desarrollo ruminal. Fuente: Ghaffari et al. (2025).	20
Figura 4. Rumen de becerro (4 meses de edad). Fuente: elaboración propia.	21
Figura 5. Mapa de la unidad experimental. Fuente: Google maps. Recuperado el 13 de junio de 2026.	33
Figura 6. Preparación de la dosis del compuesto probiótico-prebiótico. Fuente: elaboración propia.	34
Figura 7. Suministro de sustituto de leche. Fuente: elaboración propia.	35
Figura 8. Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier para la mortalidad de becerros durante los primeros 140 días de vida.	44

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina constituye una de las principales fuentes de proteína de origen animal en el mundo, ya que de ella se obtienen carne y leche, alimentos que aportan proteínas de alto valor biológico, vitaminas y minerales esenciales para la alimentación humana (FAO, 2023; OECD-FAO, 2024). Dentro de este sector, la producción lechera ocupa un lugar central, y su sostenibilidad depende en buena medida de la calidad del reemplazo del hato; es decir, de criar becerros sanos que lleguen en condiciones óptimas a la etapa productiva (Bermingham *et al.*, 2020).

Los sistemas de crianza artificial consisten en separar al becerro de la madre poco después del nacimiento y alimentarlo con leche entera o sustitutos lácteos, lo que permite un mayor control sobre la alimentación, la sanidad y el desempeño de los animales (Mellado *et al.*, 2021). No obstante, esta separación temprana expone al becerro a un periodo crítico de vulnerabilidad, en el que el manejo determina en gran parte su supervivencia y su crecimiento posterior (Hulbert y Moisés, 2016).

Además, su aparato digestivo también es funcionalmente inmaduro ya que en los primeros días el abomaso es el compartimento dominante, y solo con el consumo de alimento sólido el rumen se desarrolla de manera gradual hasta alcanzar la funcionalidad del animal adulto, proceso que se acentúa durante el destete (Van Amburgh y Drackley, 2020). Cuando el aporte de calostro es insuficiente o nulo, como ocurre en algunos esquemas de crianza artificial, esta vulnerabilidad se agrava de manera considerable (Hammon *et al.*, 2019).

Con lo anterior, las enfermedades digestivas, principalmente la diarrea neonatal y las respiratorias representan las primeras causas de morbilidad y mortalidad en

becerros lactantes, con pérdidas económicas derivadas de la mortalidad, el menor crecimiento y los costos de tratamiento (Cho y Yoon, 2014). El control de estos problemas se ha basado tradicionalmente en el uso de antibióticos; sin embargo, su empleo continuo favorece la resistencia antimicrobiana y la presencia de residuos en los productos de origen animal, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas (Ali *et al.*, 2024).

Entre esas alternativas, los probióticos son microorganismos vivos que, administrados en cantidades adecuadas, confieren un beneficio a la salud del hospedero, estos han recibido especial atención en la crianza de becerros (Hill *et al.*, 2014). Su efecto se atribuye a la modulación de la microbiota intestinal, el fortalecimiento de la barrera epitelial y el estímulo de la respuesta inmune, mecanismos que en conjunto contribuyen a mejorar la salud y el desempeño durante las primeras semanas de vida (Arshad *et al.*, 2020). En becerros lactantes, un metaanálisis que reunió 49 estudios reportó que la suplementación con probióticos mejora la ganancia de peso y el consumo de alimento, e incrementa las concentraciones séricas de inmunoglobulinas, con efectos más consistentes cuando se emplean compuestos de varias cepas, aunque las respuestas dependen de la cepa, la dosis y la forma de administración (Wang *et al.*, 2023).

Los prebióticos, por su parte, son ingredientes no digeribles por las enzimas del animal que estimulan de forma selectiva el crecimiento y la actividad de bacterias benéficas en el intestino (Cangiano *et al.*, 2020). Compuestos como los fructooligosacáridos favorecen la persistencia de géneros benéficos como *Bifidobacterium* y la maduración de la microbiota del intestino posterior, lo que se

ha relacionado con un mayor incremento de peso y una mejor salud digestiva en becerros lactantes (Gao *et al.*, 2024). La combinación de probióticos y prebióticos busca potenciar estos efectos al aportar de manera simultánea los microorganismos benéficos y el sustrato que favorece su establecimiento, con beneficios sobre el crecimiento, la inmunidad y la salud intestinal de los animales jóvenes (Chowdhury *et al.*, 2025).

A pesar del creciente interés en estos productos, las respuestas obtenidas siguen siendo inconsistentes y la evidencia disponible es todavía limitada, en especial en becerros criados en condiciones de campo y sometidos a situaciones de alto riesgo, como la ausencia de calostro y la alimentación exclusiva con sustituto de leche (Branco-Lopes *et al.*, 2025).

1.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de la suplementación con un compuesto probiótico-prebiótico en la salud de becerros Holstein Friesian durante la etapa pre y post-destete.

1.2. Objetivos específicos

Evaluar la incidencia de enfermedades digestivas en la etapa pre y post-destete.

Cuantificar la incidencia de enfermedades respiratorias en la etapa pre y post-destete.

Medir la incidencia de enfermedades mixtas (diarrea-neumonía) (neumonía-diarrea).

Evaluar la supervivencia de los becerros Holstein Friesian durante el periodo experimental, en función de la suplementación con el compuesto probiótico-prebiótico.

1.3. Hipótesis

La suplementación con un compuesto probiótico-prebiótico reduce la incidencia de enfermedades digestivas, respiratorias y mixtas, y mejora la supervivencia de los becerros Holstein Friesian, durante las etapas pre y post-destete.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la carne bovina y su aporte mundial de proteína

La carne bovina constituye una de las principales fuentes de proteína de origen animal consumidas por la población mundial; su importancia radica en que aporta proteínas de alto valor biológico, las cuales contienen todos los aminoácidos esenciales requeridos para el crecimiento, el mantenimiento y la reparación de los tejidos corporales, además de ser reconocida por su elevada densidad nutricional (Stadnik, 2024).

En la actualidad, la producción y el consumo de carne roja han sido cuestionados por diversos sectores que buscan disminuir el impacto ambiental de las actividades humanas, por lo que se ha promovido el consumo de alimentos de origen vegetal como una alternativa más sostenible; sin embargo, en este debate con frecuencia se deja de lado la relevancia nutricional de la carne roja, que constituye una fuente importante de nutrientes esenciales, entre los que destacan proteínas de alto valor biológico, vitaminas, minerales y ácidos grasos beneficiosos, de modo que, aunque es recomendable reducir el consumo de productos cárnicos altamente procesados, la eliminación total de los alimentos de origen animal puede generar riesgos nutricionales que deben analizarse cuidadosamente, en especial en los grupos de población más vulnerables (Ruxton y Gordon, 2024).

La carne de bovino posee un valor nutricional ampliamente reconocido, ya que se considera una de las fuentes más importantes de proteína de alta calidad biológica, además de aportar hierro (Fe) de alta biodisponibilidad, zinc (Zn) y fósforo (P); también contiene vitaminas del complejo B, vitamina E y betacarotenos, así como

cantidades relevantes de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI) (Giuffrida-Mendoza *et al.*, 2014).

La relevancia nutricional de la carne bovina ha llevado a numerosos investigadores a considerarla un alimento clave dentro de dietas equilibradas, especialmente en poblaciones con elevados requerimientos nutricionales, como niños, adolescentes, mujeres embarazadas y adultos mayores, y, aunque actualmente existe un debate sobre la sostenibilidad ambiental de los sistemas ganaderos, diversos organismos internacionales continúan reconociendo el papel de la carne bovina como fuente importante de proteína y nutrientes esenciales para la población mundial (FAO, 2024).

2.2. Relevancia global del sector cárnico

La producción de carne bovina ha mostrado un crecimiento continuo en las últimas décadas, y las proyecciones indican que para el año 2030 podría ubicarse entre 69 y 89 millones de toneladas; asimismo, se señala que la ganadería bovina continuará siendo una actividad importante para la economía mundial, sobre todo en las zonas rurales, donde genera empleo e ingresos y contribuye al desarrollo de las comunidades (Pulina *et al.*, 2021).

El sector cárnico representa una de las actividades agropecuarias más importantes a nivel mundial debido a su contribución a la economía, el empleo rural y la seguridad alimentaria, ya que la producción de carne involucra una extensa cadena de valor que incluye la producción primaria, la transformación industrial, la comercialización y la distribución de productos destinados al consumo humano, de

manera que millones de personas dependen directa o indirectamente de esta actividad para asegurar su sustento económico (Mottet y Tempio, 2017).

Durante las últimas décadas, la producción mundial de carne ha mostrado una tendencia creciente impulsada por el aumento de la demanda de alimentos de origen animal, y de acuerdo con los reportes más recientes, la producción global registró incrementos durante 2024, favorecida por mejores condiciones económicas y una mayor eficiencia productiva en distintas regiones; este crecimiento evidencia la capacidad del sector para adaptarse a los cambios en los patrones de consumo y responder a las necesidades alimentarias de una población en constante expansión (FAO, 2025).

Las proteínas de origen animal constituyen una fuente de alto valor biológico, ya que proporcionan los aminoácidos esenciales que el organismo necesita, y su consumo se ha relacionado con beneficios como la preservación de la masa muscular, el control del peso, la disminución de la inflamación, una mejor sensibilidad a la insulina y efectos favorables sobre la salud ósea y cardiovascular; sin embargo, estas macromoléculas pueden experimentar procesos de oxidación que reducen su digestibilidad y favorecen la formación de compuestos capaces de afectar negativamente la salud intestinal (Muñoz-Verbel *et al.*, 2023).

2.3. Sistemas de crianza artificial

La crianza artificial de becerros es un sistema de manejo en el cual las crías se separan de la madre poco tiempo después del nacimiento y reciben alimentación mediante leche, sustitutos lácteos o sistemas automatizados, bajo la supervisión del personal encargado, y se ha convertido en una práctica común dentro de las

explotaciones lecheras intensivas debido a que permite controlar de manera más precisa la alimentación, el estado sanitario y el crecimiento de los animales durante sus primeras etapas de vida (Bermingham *et al.*, 2020).

El principal objetivo de la crianza artificial consiste en maximizar la supervivencia y el desarrollo de los becerros mediante programas de alimentación y manejo cuidadosamente establecidos, ya que la separación temprana facilita el monitoreo individual del consumo de leche, agua y alimento sólido, además de permitir una detección más rápida de enfermedades o problemas de crecimiento; asimismo, contribuye a reducir la transmisión de agentes infecciosos entre vacas adultas y becerros recién nacidos, favoreciendo mejores condiciones sanitarias dentro de las unidades de producción (Drackley, 2019).

2.4. Crianza artificial como estrategia productiva

La salud, el crecimiento y la productividad de los becerros dependen de las prácticas de alimentación en las fincas; sin embargo, en muchas explotaciones lecheras el cuidado de los becerros no es prioritario, lo que afecta su crecimiento y desempeño, problemas que pueden pasar desapercibidos hasta que los animales llegan a la edad adulta y comienzan a producir leche, sin que los productores los relacionen con la etapa de crianza (Elizondo-Salazar, 2013).

El suministro oportuno de alimento sólido, que incluye concentrado y forraje, así como su calidad nutricional y el equilibrio entre fibra efectiva y carbohidratos altamente fermentables, constituye un factor fundamental en el manejo nutricional del becerro, debido a que estos componentes favorecen el establecimiento de la fermentación ruminal y estimulan el crecimiento y desarrollo de las papilas del

epitelio ruminal; en consecuencia, influyen directamente en la velocidad con la que el rumen adquiere su capacidad funcional, permitiendo una transición eficiente hacia una alimentación basada en forrajes después del destete y contribuyendo al adecuado desempeño productivo del animal (Nemocón-Cobos *et al.*, 2020).

2.5. Intercambio materno-fetal a través de la placenta bovina

La placenta bovina es el órgano que mantiene la conexión entre la madre y el feto durante toda la gestación, ya que a través de ella se realiza el intercambio de oxígeno, nutrientes, hormonas y sustancias de desecho necesarias para el desarrollo del becerro; además, en los bovinos la placenta presenta características diferentes a las de otros mamíferos, lo que influye en la forma en que ocurre dicho intercambio (Davenport *et al.*, 2023).

Desde el punto de vista anatómico, la placenta bovina se clasifica como cotiledonaria y epiteliocorial, ya que está formada por numerosos placentomas que resultan de la unión entre los cotiledones fetales y las carúnculas maternas, estructuras altamente vascularizadas que son las principales zonas donde ocurre el intercambio materno-fetal, y la presencia de varias capas celulares entre ambas circulaciones protege al feto durante su desarrollo, aunque también limita el paso de algunas moléculas de gran tamaño; en este proceso, la formación del trofoblasto y de las células binucleadas resulta fundamental para el establecimiento y el mantenimiento de la gestación (Wooding, 2022).

A través de la placenta también se transfieren nutrientes esenciales para el crecimiento fetal, entre ellos glucosa, aminoácidos, minerales, vitaminas y ácidos grasos, donde la glucosa constituye la principal fuente de energía para el feto,

mientras que los aminoácidos participan en la formación de proteínas y en el desarrollo de órganos y tejidos, de modo que, cuando la placenta no funciona adecuadamente, puede afectarse el paso de nutrientes hacia el feto, lo que repercute en el peso al nacimiento y en el desarrollo posterior; además, factores ambientales como el estrés por altas temperaturas durante la gestación pueden alterar el funcionamiento placentario y afectar el rendimiento productivo de la descendencia (Casarotto *et al.*, 2025)

Una característica importante de los bovinos es que, durante la gestación, la transferencia de anticuerpos de la madre hacia el feto es muy limitada, ya que la placenta epiteliocorial impide el paso de la mayoría de las inmunoglobulinas, de manera que los becerros nacen prácticamente sin anticuerpos circulantes y dependen del consumo de calostro durante las primeras horas de vida para adquirir protección, por lo que la transferencia de inmunidad pasiva a través del calostro se considera uno de los factores más importantes para la salud y la supervivencia de los recién nacidos (Silva *et al.*, 2024; Rabaza *et al.*, 2023).

Además de participar en el intercambio de nutrientes, la placenta bovina produce hormonas y cumple funciones que contribuyen al mantenimiento de la gestación, y estudios recientes han demostrado que existe una comunicación constante entre el embrión y el organismo materno mediante diferentes señales biológicas, las cuales favorecen el desarrollo embrionario y permiten que la madre tolere la presencia del feto durante toda la gestación (Mazzarella *et al.*, 2024).

2.6. Calostro y transferencia de inmunidad

El calostro corresponde a la primera secreción láctea producida por la vaca después del parto y se caracteriza por su elevada concentración de macronutrientes, micronutrientes, inmunoglobulinas, péptidos con actividad antimicrobiana y factores de crecimiento; además, se distingue de la leche convencional por presentar un menor contenido de lactosa y una mayor proporción de proteínas, y desempeña un papel fundamental en el crecimiento, el desarrollo y el fortalecimiento inmunológico y nutricional del becerro recién nacido (Ramani *et al.*, 2024).

En la cría de ganado lechero, los becerros por lo general no permanecen con sus madres, sino que son separados de ellas poco después de nacer; por tanto, son los ganaderos quienes manejan la alimentación con calostro y leche, lo cual resulta fundamental para mejorar la salud de los terneros y disminuir la tasa de mortalidad durante esta etapa (Hammon *et al.*, 2019).

Las primeras horas de vida del becerro son determinantes para la transferencia de inmunidad pasiva a través del calostro, que el becerro debe consumir rápidamente, ya que su intestino solo puede absorber adecuadamente estas defensas durante un tiempo limitado; después de unas horas esta capacidad disminuye hasta cerrarse casi por completo, de modo que, si el becerro no recibe suficiente calostro, queda expuesto a infecciones y enfermedades (Lombard *et al.*, 2020).

El suministro de calostro de calidad, en el momento apropiado y en la cantidad requerida, es importante para garantizar el éxito de toda la etapa productiva, debido a que asegura no solo la sanidad del animal, sino también la maduración y la función

neonatal del tracto gastrointestinal, influyendo directamente sobre los parámetros de mortalidad durante las diferentes etapas del desarrollo (Godden, 2008).

El calostro bovino aporta no solo inmunoglobulinas, sino también células, factores bioactivos y microorganismos que apoyan el desarrollo del tracto gastrointestinal y la protección frente a patógenos en las primeras semanas de vida (Gunn *et al.*, 2019). Asimismo, la nutrición láctea predestete influye en el crecimiento y la productividad posteriores, ya que los planes de alimentación intensificados mejoran la ganancia temprana, pero requieren estrategias de destete que eviten el estrés (Blum y Hammon, 2000).

Con el paso de los días, el becerro entra en un periodo de riesgo, pues los anticuerpos obtenidos del calostro comienzan a disminuir y su propio sistema inmune todavía no produce suficientes defensas, por lo que el animal puede enfermar con mayor facilidad, momento en el que la vacunación puede ayudar, aunque en ocasiones la respuesta no es completa debido a la interferencia de los anticuerpos maternos (Hulbert y Moisés, 2016).

Además de su contenido habitual de grasas, proteínas, vitaminas y minerales, el calostro aporta una cantidad importante de azúcares que complementan la alimentación inicial del ternero durante sus primeras horas de vida (Salazar-Acosta y Elizondo-Salazar, 2018). De igual manera, el heno se suministra a los terneros por separado del alimento iniciador, lo que les permite elegir libremente qué consumir (Engelking *et al.*, 2020).

2.7. Desarrollo del sistema inmunológico del becerro

Al nacer, los terneros carecen de inmunoglobulinas y dependen del calostro materno para obtenerlas; este proceso, llamado transferencia pasiva, ocurre durante las primeras 24 horas y protege al ternero contra enfermedades, y dado que la cantidad y la calidad del calostro consumido son cruciales para una transferencia efectiva, la concentración de IgG en el calostro se considera un indicador clave de su calidad y se relaciona estrechamente con la salud del ternero (Godden, 2019).

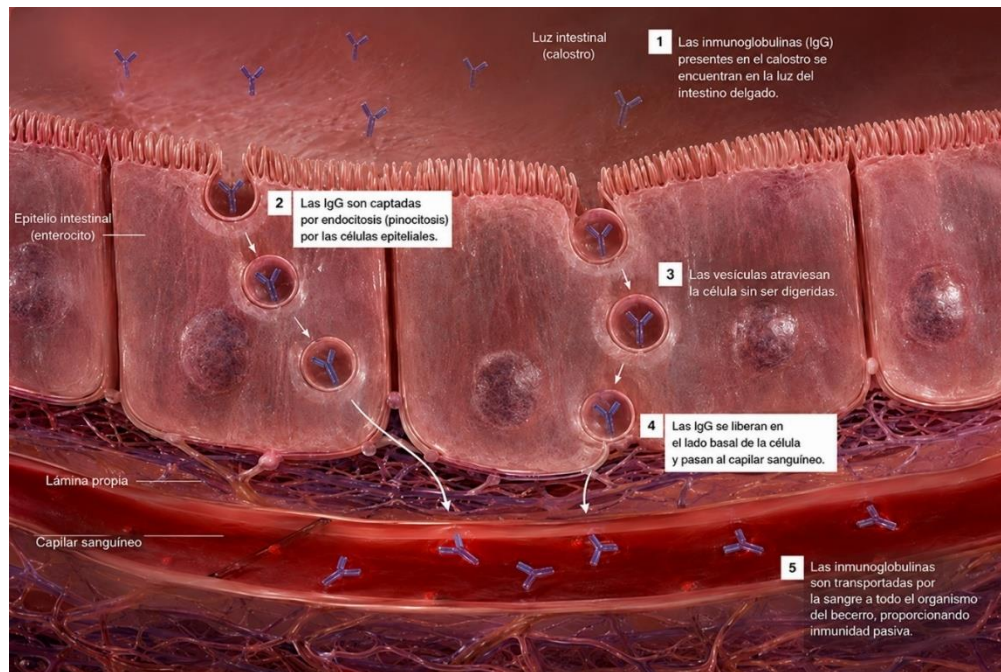


Figura 1. Transporte de inmunoglobulinas en el intestino delgado del becerro. Fuente: elaboración propia.

Conforme el becerro crece, su sistema inmune madura y mejora su capacidad de respuesta frente a las enfermedades, hasta que con el tiempo desarrolla su propia inmunidad activa, lo que le permite mantenerse sano y adaptarse mejor a su entorno (Chase *et al.*, 2008).

2.8. Anatomía y fisiología del sistema digestivo del becerro

Al nacer, el becerro se comporta funcionalmente como un animal monogástrico, pues desde el nacimiento y hasta aproximadamente los 90 días de edad el abomaso constituye el compartimento digestivo de mayor actividad, razón por la cual la etapa de lactancia se considera una de las fases más importantes de su desarrollo, durante la cual el suministro de calostro, leche o sustitutos lácteos resulta esencial para cubrir sus requerimientos nutricionales y favorecer un crecimiento adecuado, por lo que, aunque representa la etapa de alimentación más costosa, su manejo correcto influye de manera significativa en la salud, el desarrollo y el desempeño productivo futuro del animal (Drackley, 2008).

El adecuado desarrollo del rumen, particularmente del epitelio y las papilas ruminales, es esencial para el establecimiento de la función digestiva y el rendimiento productivo de los rumiantes, debido a que durante el periodo posnatal este órgano experimenta importantes cambios estructurales y funcionales impulsados por el consumo de alimento sólido y la colonización microbiana, lo que favorece la producción de ácidos grasos volátiles, especialmente butirato, y promueve el crecimiento y la maduración del tejido ruminal (Pokhrel y Jiang, 2024).

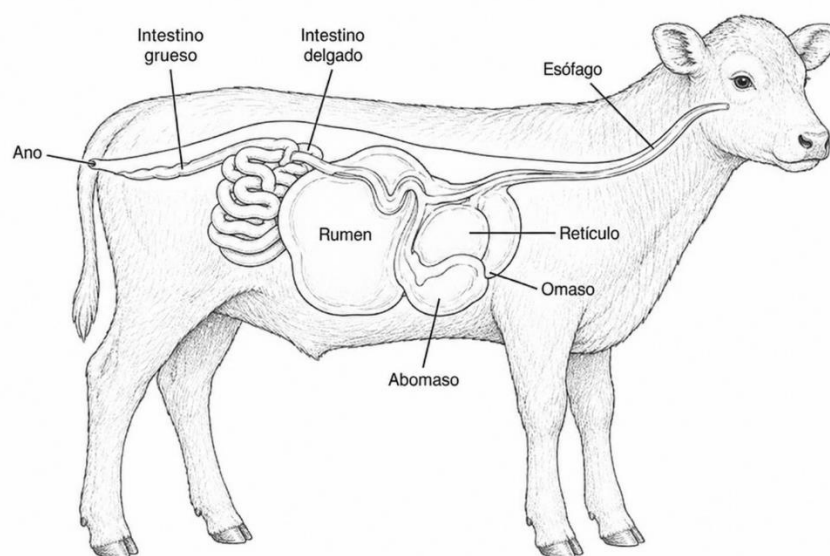


Figura 2. Anatomía y fisiología del becerro. Fuente: elaboración propia.

2.9. Consumo de leche entera, sustituto de leche y leche con antibiótico

Al inicio de su vida, los becerros tienen un rumen que aún no está completamente desarrollado, tanto física como metabólicamente, por lo que dependen inicialmente de la leche para obtener los nutrientes necesarios para su mantenimiento y crecimiento (González-Ávalos *et al.*, 2022).

La alimentación líquida puede estar compuesta por leche entera, sustituto de leche o leche con antibiótico, y el suministro de una u otra dependerá de los costos, la calidad y las condiciones sanitarias, entre otros factores, por lo que en todos los casos debe procurarse ofrecer cantidades apropiadas que no afecten el consumo de alimento concentrado ni el desarrollo ruminal, sin sobrepasar los 0.7 kg de materia seca por día ni las ocho semanas de suministro lácteo (Khan *et al.*, 2011).

El periodo neonatal del becerro es crítico, porque su sistema inmune nace prácticamente sin defensas y depende de la transferencia pasiva de inmunidad a

través del calostro temprano, de modo que las fallas en el tiempo, la calidad o el manejo del calostro incrementan la susceptibilidad a patógenos y comprometen la salud futura del animal (Beam *et al.*, 2009).

2.10. Alimentación

El concentrado iniciador estimula el crecimiento del revestimiento intestinal y reduce la oxidación de la glucosa, y en entornos comerciales los becerros tienen acceso temprano al iniciador, lo que puede modificar la composición bacteriana de su intestino, mientras que la inclusión de butirato de sodio en el iniciador promueve un intestino más sano (Meale *et al.*, 2017).

Para mejorar la eficiencia en la producción lechera deben implementarse programas de alimentación adecuados, de manera que durante la etapa predestete es posible reducir el uso de leche o sustitutos, alimentar a los becerros principalmente con concentrados y destetarlos de forma temprana, o emplear piensos modernos con cereales procesados y suplementos vitamínicos y minerales, los cuales ofrecen buena aceptación y estabilidad en la fermentación ruminal; también pueden utilizarse piensos tradicionales con ingredientes convencionales (González-Avalos *et al.*, 2019).

Desde las primeras etapas del desarrollo embrionario, el sistema digestivo de los rumiantes comienza a formarse y continúa haciéndolo hasta que el animal alcanza la madurez, y aunque algunas partes, como el rumen, el retículo y el omaso, pueden desarrollarse con rapidez, los rumiantes nacen con un estómago funcionalmente simple, ya que el omaso adquiere su posición definitiva cuando el animal adulto comienza a ingerir grandes cantidades de alimento sólido (Church, 1998).

La incorporación de enzimas en la dieta de los becerros puede mejorar la descomposición de los componentes fibrosos del alimento, complementando las enzimas propias del animal, lo que puede contrarrestar los efectos negativos del destete sobre el comportamiento productivo y promover un mejor crecimiento y una mayor eficiencia alimentaria (Flores-Bernal *et al.*, 2006).

Uno de los mayores desafíos en la inmunología de becerros es la persistencia de la inmunidad pasiva, que puede inhibir la respuesta a las vacunas, ya que niveles elevados de IgG materna bloquean los epítomos de los antígenos vacunales e impiden la activación de los linfocitos B del becerro, por lo que se han desarrollado protocolos de vacunación intranasal que evaden la interferencia sistémica y estimulan directamente el tejido linfoide asociado a la nariz (NALT), generando una protección local rápida y efectiva (Windeyer *et al.*, 2012).

Finalmente, tras superar la brecha inmunológica del destete, el animal comienza a desarrollar una memoria inmunológica más robusta y duradera, de modo que, una vez que el eje hipotálamo-pituitaria-adrenal se estabiliza después del cambio de dieta, el repertorio de células T de memoria se expande, lo que asegura que, ante una segunda exposición a patógenos comunes del hato, la respuesta inmunitaria sea más rápida, específica y de mayor magnitud, favoreciendo la integración del animal al grupo de novillas de reemplazo (Hulbert y Moisés, 2016).

2.11. Concentrado iniciador

El destete es una etapa delicada para los becerros porque deben adaptarse rápidamente a una nueva forma de alimentación, al dejar la leche y comenzar a consumir alimentos sólidos, es común que presenten estrés y una disminución

temporal en su crecimiento, por esta razón, el concentrado iniciador se utiliza como una estrategia nutricional que ayuda a que la transición sea gradual y menos pesada para el animal, favoreciendo su bienestar y desarrollo durante esta etapa (Bittar *et al.*, 2020).

El concentrado iniciador es un alimento diseñado específicamente para cubrir las necesidades nutricionales de los becerros en sus primeras semanas de vida y su consumo temprano ayuda a que el sistema digestivo madure de forma adecuada, especialmente el rumen, que al nacimiento aún tiene una actividad limitada. Además, al ser un alimento altamente digestible y energético, permite que el becerro mantenga un buen crecimiento aun cuando el consumo de leche comienza a reducirse (Hammon *et al.*, 2021).

Uno de los principales beneficios del concentrado iniciador es que estimula el desarrollo interno del rumen, cuando el becerro consume este alimento, se producen ácidos grasos volátiles derivados de la fermentación, los cuales favorecen el crecimiento de las papilas ruminales, estas pequeñas estructuras son las encargadas de absorber nutrientes dentro del rumen, por lo que su buen desarrollo mejora la capacidad digestiva y el aprovechamiento de los alimentos en etapas posteriores (Khan *et al.*, 2022).

Estudios recientes han mostrado que los becerros que consumen mayores cantidades de iniciador antes del destete presentan mejores ganancias de peso y una adaptación más eficiente a la alimentación sólida, esto ayuda a reducir los efectos negativos del destete y favorece un crecimiento más estable durante los primeros meses de vida (Steele *et al.*, 2021).

Otro aspecto importante es que el concentrado iniciador contribuye al establecimiento de una microbiota ruminal saludable, debido a que los microorganismos que se desarrollan dentro del rumen son esenciales para la digestión y fermentación de los alimentos, permitiendo que el animal obtenga energía y nutrientes de manera más eficiente (Kim *et al.*, 2023).

2.12. Adaptación del rumen al destete en becerros

El destete es un evento estresante multifactorial que dispara la secreción de glucocorticoides y catecolaminas; este incremento del cortisol endógeno provoca una redistribución de las poblaciones de leucocitos, reduce la proporción de linfocitos y altera la capacidad citotóxica de las células Natural Killer (NK), inmunosupresión inducida por el estrés que es la principal responsable de que el periodo peri-destete coincida con los picos más altos de morbilidad respiratoria en los sistemas de crianza intensiva (Kim *et al.*, 2011).

Durante los primeros días de vida, el rumen, el retículo y el omaso presentan una actividad limitada, mientras que el abomaso funciona de manera similar al de un animal no rumiante, por ello, desde muy temprano resulta esencial suministrar concentrados y forraje para estimular el desarrollo del rumen y favorecer una mejor ingesta de alimento al momento del destete (Flores-Bernal *et al.*, 2006).

La transición del becerro de un estado de monogástrico funcional a un rumiante completo implica cambios metabólicos que repercuten en el sistema inmune, ya que la fermentación de los carbohidratos sólidos produce ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como el butirato, que no solo estimula el crecimiento de las papilas ruminales, sino que también posee propiedades antiinflamatorias a nivel sistémico;

este desarrollo metabólico es crucial, pues un rumen funcional permite una mejor absorción de los nutrientes necesarios para la síntesis de proteínas de fase aguda y otros componentes de la respuesta inmune innata (Khan *et al.*, 2011).

Para obtener buenos resultados en esta etapa, es esencial asegurar el crecimiento del ternero mediante la ingesta adecuada de calostro y una alimentación apropiada, e incrementar de forma gradual la introducción de alimentos concentrados, los cuales aceleran el desarrollo del rumen y facilitan un destete menos estresante (Ybalmea, 2015).

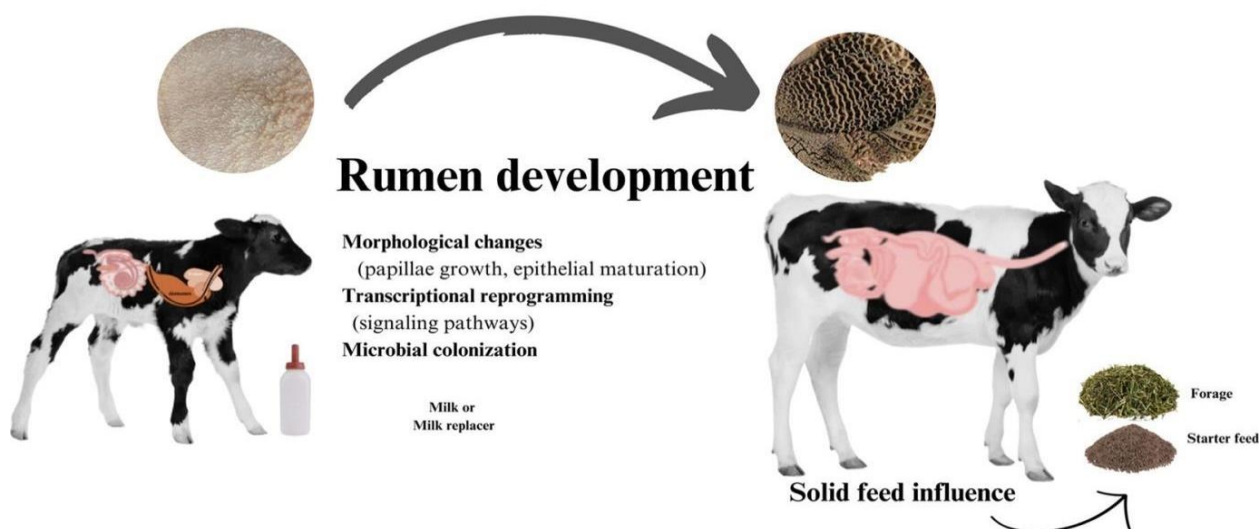


Figura 3. Desarrollo ruminal. Fuente: Ghaffari et al. (2025).

2.13. Metabolismo y función ruminal en becerros en transición

Uno de los principales desafíos fisiológicos que enfrentan los rumiantes durante las primeras etapas de vida corresponde al desarrollo y la maduración del rumen, proceso que no solo involucra el crecimiento tisular y la diferenciación de las células que conforman este compartimento gástrico, sino que también genera modificaciones importantes en el metabolismo del animal, debido a que se produce

una transición progresiva en el tipo y la disponibilidad de nutrientes que llegan al intestino y al hígado; en consecuencia, estos cambios influyen directamente en el aporte de sustratos energéticos y nutricionales hacia los tejidos periféricos, contribuyendo al establecimiento de las funciones digestivas y metabólicas propias del rumiante adulto (Baldwin *et al.*, 2004).

Es esencial que los becerros comiencen a consumir concentrado iniciador desde la primera semana de vida para asegurar un buen desarrollo del rumen (Figura 4) y un crecimiento óptimo; además, en las granjas lecheras del noroeste de México los productores utilizan diferentes sustitutos de leche, nacionales e importados, para criar a los becerros (Saucedo *et al.*, 2005).



Figura 4. Rumen de becerro (4 meses de edad). Fuente: elaboración propia.

2.14. Transición alimentaria y estabilidad microbiana del rumen

La transición alimentaria constituye una de las etapas más importantes en el desarrollo de los becerros, ya que implica el cambio gradual de una dieta basada principalmente en leche hacia el consumo de alimentos sólidos capaces de sostener la fermentación ruminal, proceso durante el cual ocurren modificaciones fisiológicas, anatómicas y microbianas que permiten transformar el rumen inmaduro en un

órgano funcional; en este sentido, la colonización y el desarrollo de la microbiota gastrointestinal durante las primeras semanas de vida son determinantes para la salud, el crecimiento y la capacidad digestiva futura, pues la estabilidad de las poblaciones microbianas durante esta transición influye directamente en la eficiencia de utilización de nutrientes y en el desempeño productivo posterior (Du *et al.*, 2023).

A medida que aumenta el consumo de concentrado iniciador y forrajes, el ecosistema ruminal experimenta cambios importantes en su composición microbiana y en los productos de fermentación generados, ya que la transición desde una digestión predominantemente intestinal hacia una fermentación ruminal efectiva requiere el establecimiento coordinado de bacterias, arqueas, protozoarios y hongos capaces de degradar los componentes de la dieta sólida; durante este periodo también ocurre un crecimiento acelerado de las papilas ruminales y una mayor capacidad de absorción de los ácidos grasos volátiles producidos por la fermentación, lo que permite que el becerro dependa progresivamente menos de la leche y más de los nutrientes derivados de la actividad microbiana ruminal (Mousaie y Hammon, 2025).

La estabilidad microbiana del rumen depende en gran medida de las características nutricionales de la dieta suministrada durante la transición alimentaria, ya que investigaciones recientes han demostrado que la composición de los carbohidratos presentes en los alimentos sólidos puede modificar significativamente la estructura y la funcionalidad de las comunidades microbianas gastrointestinales, pues distintas fuentes de carbohidratos generan respuestas diferentes en la colonización

bacteriana y en los procesos fermentativos, afectando la producción de metabolitos y el ambiente ruminal; por ello, la selección adecuada de ingredientes durante la transición resulta fundamental para promover una microbiota estable y funcional (Hartinger *et al.*, 2024).

Además de la composición de la dieta, las estrategias de alimentación empleadas durante el periodo previo al destete pueden influir sobre la adaptación metabólica y microbiana del rumen, pues estudios recientes han señalado que las interacciones entre la microbiota asociada al epitelio ruminal y los mecanismos inmunológicos del hospedador participan activamente en la regulación del desarrollo ruminal; esta comunicación entre microorganismos y tejidos favorece la absorción de nutrientes, el metabolismo energético y la maduración funcional del órgano, lo que permite una transición más eficiente hacia sistemas de alimentación basados en ingredientes sólidos (Müller *et al.*, 2024).

La incorporación gradual de alimentos sólidos también favorece la producción de ácidos grasos volátiles, especialmente butirato y propionato, compuestos que desempeñan funciones esenciales en el desarrollo estructural y metabólico del rumen, ya que la fermentación de estos sustratos estimula la proliferación celular del epitelio ruminal y contribuye a incrementar la superficie de absorción disponible; sin embargo, los desequilibrios en la fermentación ocasionados por cambios bruscos en la dieta pueden alterar la composición microbiana y predisponer a trastornos digestivos como la acidosis subaguda y la disminución del consumo voluntario de alimento (Pokhrel y Jiang, 2024).

Finalmente, la estabilidad microbiana durante la transición alimentaria se considera un factor clave para garantizar la salud gastrointestinal y el desempeño productivo de los becerros, ya que una microbiota equilibrada favorece la digestión eficiente de los nutrientes, fortalece la integridad de la barrera gastrointestinal y contribuye al desarrollo del sistema inmunológico, mientras que las alteraciones en su composición pueden incrementar la susceptibilidad a enfermedades digestivas y reducir la eficiencia productiva; en consecuencia, las estrategias nutricionales orientadas a promover una colonización microbiana adecuada representan una herramienta fundamental para optimizar el crecimiento y el bienestar de los becerros en las etapas tempranas de vida (Li *et al.*, 2023).

2.15. Uso de probióticos y prebióticos en becerros

Los probióticos son microorganismos vivos no patógenos que, en muchos casos, se encuentran de forma natural en el tracto gastrointestinal, y que al incorporarse a la dieta favorecen el equilibrio de la microbiota y la salud del animal (Elghandour *et al.*, 2020).

Recientemente, los probióticos y prebióticos han sido ampliamente utilizados como alternativas para fortalecer la salud del sistema digestivo y disminuir la aparición de diarreas en becerros durante sus primeras etapas de vida, y el cambio gradual de una alimentación basada principalmente en leche hacia el consumo de alimentos sólidos con alto contenido de carbohidratos de rápida fermentación ofrece una oportunidad para incorporar productos de origen microbiano, debido a que estos pueden favorecer el adecuado desarrollo del rumen, reducir los efectos negativos

asociados al destete y contribuir a mantener un buen estado de salud y un crecimiento adecuado antes y después de esta etapa (Cangiano *et al.*, 2020).

Durante las primeras semanas, los becerros dependen de la leche y posteriormente pasan al consumo de alimentos sólidos hasta el destete, proceso en el que los alimentos se fermentan en un sistema digestivo aún en desarrollo, donde la lactosa de la leche se descompone en glucosa y galactosa, que se absorben en el intestino, mientras que la sacarosa apenas se degrada en los rumiantes; cuando los terneros consumen concentrados, los microorganismos fermentan los carbohidratos y producen ácidos grasos volátiles, de modo que el desafío nutricional radica en que el sistema digestivo debe madurar lo suficiente para digerir almidones, carbohidratos no fibrosos y proteínas no lácteas después del destete (Drackley, 2008).

Los probióticos colonizan el tracto gastrointestinal, se adhieren a la superficie de la mucosa y generan una capa protectora microbiana que reduce el espacio disponible para las bacterias patógenas, disminuyendo así sus posibilidades de invasión y estableciendo un equilibrio benéfico en el intestino del becerro (Kumar *et al.*, 2022). De manera complementaria, cuando se suministran disueltos en la leche, su administración suele abarcar desde el nacimiento hasta el destete, con el fin de modular tempranamente el ecosistema intestinal y apoyar la respuesta inmune del animal (Wu *et al.*, 2021).

Los prebióticos, por su parte, son ingredientes no digeribles por las enzimas del animal que estimulan de forma selectiva el crecimiento y la actividad de bacterias benéficas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, lo que se ha relacionado con

efectos favorables sobre la salud intestinal y la reducción de la diarrea (Heinrichs *et al.*, 2009). La combinación de probióticos y prebióticos, en forma de simbióticos, busca un efecto sinérgico al aportar simultáneamente los microorganismos benéficos y el sustrato que favorece su establecimiento, y se ha asociado con una mayor ganancia diaria de peso y una mejor respuesta inmunológica en becerros (Sharma *et al.*, 2023). No obstante, las respuestas descritas en la literatura son variables y dependen de la cepa, la dosis y la forma de administración, por lo que algunos estudios no encuentran diferencias significativas frente al grupo control (Deng *et al.*, 2023).

2.16. Diarrea neonatal y sus efectos productivos

La diarrea neonatal bovina es reconocida como la principal causa de morbilidad y mortalidad en becerros a nivel mundial, especialmente durante las primeras semanas de vida, pues afecta principalmente a animales menores de un mes y representa un problema sanitario relevante en los sistemas de producción debido a su alta incidencia y a su impacto negativo sobre la salud y la supervivencia de los neonatos (Meganck *et al.*, 2014; Jessop *et al.*, 2024).

La etiología de la diarrea neonatal es compleja y multifactorial, ya que puede ser causada por diversos agentes infecciosos como *Escherichia coli*, *rotavirus*, *coronavirus* y *Cryptosporidium parvum*, considerados los principales enteropatógenos a nivel mundial; además, factores no infecciosos como el manejo, la nutrición, la higiene y una adecuada transferencia de inmunidad pasiva (Brunauer, *et al.*, 2021).

Desde el punto de vista fisiopatológico, la diarrea neonatal se produce por alteraciones intestinales que generan hipersecreción, mala absorción de nutrientes o ambos procesos, alteraciones que pueden ser provocadas por toxinas bacterianas, inflamación intestinal o daño de las vellosidades intestinales causado por virus, lo que afecta directamente la digestión y el equilibrio del organismo del becerro (Argenzio, 1985).

En términos productivos, la diarrea neonatal tiene un impacto significativo, ya que no solo incrementa la mortalidad, sino que también afecta el crecimiento y el desarrollo de los animales sobrevivientes, de manera que los becerros que padecen esta enfermedad suelen presentar menor ganancia de peso, alteraciones en su desarrollo y una mayor susceptibilidad a otras enfermedades, lo que compromete su desempeño productivo futuro (Jessop *et al.*, 2024).

Finalmente, esta enfermedad genera pérdidas económicas importantes debido a los costos asociados al tratamiento, el manejo y la prevención, así como por la reducción en la eficiencia productiva del sistema, por lo que su control se basa principalmente en estrategias preventivas, como un adecuado manejo del calostro, buenas prácticas de higiene y el fortalecimiento del sistema inmune del becerro desde sus primeras horas de vida (Meganck *et al.*, 2014).

2.17. Neumonía en becerros

La enfermedad respiratoria bovina (BRD) es uno de los principales problemas sanitarios que afectan a los becerros durante las etapas de crianza y desarrollo, y se trata de un complejo multifactorial que involucra la interacción entre agentes infecciosos, factores ambientales y condiciones propias del hospedador, capaz de

afectar tanto las vías respiratorias superiores como las inferiores y de provocar inflamación pulmonar, reducción del bienestar animal y pérdidas económicas significativas; debido a su elevada frecuencia y a los costos asociados con los tratamientos y la disminución del rendimiento productivo, la BRD continúa siendo una de las enfermedades más importantes para la industria ganadera mundial (Kamel *et al.*, 2024).

La presentación de la enfermedad suele relacionarse con situaciones de estrés que comprometen los mecanismos de defensa del organismo, de modo que factores como el destete, el transporte, la mezcla de animales de diferentes orígenes, la ventilación deficiente, la acumulación de humedad y los cambios bruscos de temperatura favorecen la aparición de infecciones respiratorias, ya que alteran la capacidad del sistema inmunológico para controlar los microorganismos del ambiente e incrementan la susceptibilidad de los becerros a desarrollar neumonía clínica o subclínica (Renaud y Abuelo, 2025).

La etiología de la BRD es compleja debido a que generalmente participan múltiples agentes infecciosos de manera simultánea, ya que diversos virus respiratorios pueden alterar los mecanismos de defensa del tracto respiratorio y facilitar la colonización posterior por bacterias oportunistas, y esta interacción entre infecciones virales y bacterianas incrementa la gravedad de las lesiones pulmonares y dificulta el control de la enfermedad, de modo que las coinfecciones representan actualmente uno de los principales desafíos para la prevención y el tratamiento de la neumonía bovina, debido a que los mecanismos patológicos

involucrados son altamente dinámicos y dependen tanto del agente infeccioso como de la respuesta inmunitaria del animal (Gaudino *et al.*, 2022).

Dentro de los microorganismos asociados con la enfermedad respiratoria bovina, los pertenecientes a la clase Mollicutes, particularmente algunas especies de *Mycoplasma*, han recibido una atención creciente en los últimos años, ya que participan con frecuencia en cuadros respiratorios complejos y pueden actuar conjuntamente con otros patógenos bacterianos y virales; su presencia se ha relacionado con procesos respiratorios persistentes, disminución del crecimiento y mayores dificultades para lograr una recuperación completa de los animales afectados (Dudek y Nicholas, 2024).

La enfermedad respiratoria bovina afecta directamente el desempeño productivo de los becerros, ya que los animales enfermos suelen presentar disminución del consumo de alimento, menor ganancia diaria de peso, retraso en el crecimiento y mayores costos por tratamientos veterinarios; además, las lesiones pulmonares desarrolladas durante las primeras etapas de vida pueden generar efectos negativos persistentes sobre la eficiencia productiva futura, por lo que la detección temprana constituye una herramienta fundamental para reducir las pérdidas económicas y mejorar el bienestar animal (Berman, 2024).

Diversos estudios recientes han demostrado que los programas preventivos enfocados en el fortalecimiento de la inmunidad, el adecuado manejo del calostro, la reducción de los factores de estrés y la mejora de las condiciones ambientales son estrategias esenciales para disminuir la incidencia de neumonías en becerros, de manera que la implementación de medidas de bioseguridad, una ventilación

adecuada y el monitoreo sanitario continuo contribuyen de manera significativa a reducir la presentación de casos clínicos y a mejorar la productividad de los sistemas de crianza (Otten *et al.*, 2023; Abi Younes *et al.*, 2024).

2.18. Buenas prácticas para reducir problemas gastrointestinales

Las buenas prácticas de manejo y bioseguridad constituyen la principal herramienta preventiva frente a los trastornos gastrointestinales en becerros, especialmente en animales con sistemas inmunes inmaduros que son altamente susceptibles a la introducción y diseminación de patógenos, por lo que la implementación de medidas de bioseguridad, sobre todo las internas durante el periodo predestete, como el manejo del calostro y el alojamiento adecuado, es determinante para reducir el riesgo de enfermedad en esta etapa (Fonseca Martinez *et al.*, 2025).

Dado que la diarrea neonatal se transmite principalmente por vía fecal-oral, el control de la enfermedad se centra en mantener un alto estándar de higiene, particularmente en los utensilios de alimentación, ya que la limpieza regular de cubetas, mamilas y equipo de suministro reduce la carga de bacterias patógenas e interrumpe las cadenas de infección entre animales (Heinemann *et al.*, 2020). En este sentido, factores de manejo como la frecuencia de limpieza del área de partos, el tipo de alojamiento y la higiene general se han asociado de forma directa con la presencia de diarrea en las explotaciones lecheras (Klein-Jöbstl *et al.*, 2014).

De manera integral, la reducción de la morbilidad y la mortalidad por causas digestivas depende de la aplicación conjunta de un adecuado manejo del calostro, buenas prácticas de higiene, control de las condiciones ambientales y estrategias orientadas a fortalecer la salud intestinal del becerro, medidas que, además de

mejorar la sanidad, contribuyen a un uso más racional de los antimicrobianos dentro de los sistemas de producción (Robi *et al.*, 2024).

2.19. Salud y desempeño en becerros

La carga alostática, entendida como el costo biológico que el animal paga por adaptarse a su entorno, se ve fuertemente influenciada por la higiene de las instalaciones, ya que el hacinamiento y la ventilación deficiente incrementan la presión de infección por *Mannheimia haemolytica* y *Pasteurella multocida*, y la exposición crónica a estos patógenos ambientales, sumada a niveles elevados de amoníaco, agota los recursos metabólicos del sistema inmune y limita la capacidad del becerro para responder ante desafíos virales concurrentes (McGuirk y Peek, 2014).

La cantidad de proteínas microbianas presentes en el intestino está determinada por la disponibilidad de nutrientes y por la forma en que las bacterias del rumen los aprovechan, por lo que el metabolismo del nitrógeno en el rumen involucra dos procesos: la degradación de proteínas, que provee nitrógeno a las bacterias, y la síntesis de proteínas microbianas (Bach *et al.*, 2005).

Entre los factores de riesgo asociados a la salud del becerro se han identificado quién asiste al parto, los niveles de inmunoglobulinas, la calidad y limpieza del lugar de alojamiento y el recipiente utilizado para la alimentación; en particular, la infección por *Cryptosporidium* spp. es frecuente y significativa en becerras lactantes de ganado lechero, y su gravedad puede verse afectada por la edad, el estado inmunológico y las condiciones ambientales durante la crianza (García-Romo *et al.*, 2014).

En los sistemas lecheros, los problemas digestivos como la acidosis ruminal son comunes, y los terneros resultan especialmente susceptibles a enfermedades y mortalidad, ya que tras el destete una dieta alta en proteínas favorece el crecimiento del retículo-rumen, lo que resalta la importancia de un buen iniciador para el desarrollo ruminal posdestete (Meale *et al.*, 2017).

La rentabilidad de la ganadería se ve afectada por la salud y el manejo adecuado de los animales jóvenes, ya que el crecimiento lento de los becerros, la baja producción de leche derivada de enfermedades crónicas y la propagación de enfermedades desde los animales adultos hacia los terneros, como la coccidiosis, se traducen en mayores gastos veterinarios y limitan las oportunidades de selección genética debido a la elevada tasa de mortalidad entre los animales jóvenes (Yescas-Vásquez y Jaimes-Jaimes, 2010).

Finalmente, es ampliamente reconocido que la alimentación proporcionada a las vacas lecheras es un factor crucial que influye en la cantidad y la calidad de la leche producida, y aunque varios nutrientes de la dieta pueden afectar la producción láctea, la energía y las proteínas son los más determinantes (Safaei y Yang, 2017). Alcanzar buenos resultados requiere comprender la nutrición básica y aplicar un manejo adecuado, pues en muchas fincas lecheras la atención a la alimentación y el cuidado de los becerros no es prioritaria, lo que repercute negativamente en su crecimiento y en su desempeño productivo y reproductivo, ya que un objetivo clave de alimentar a los becerros desde temprana edad es potenciar el desarrollo del rumen para que aprovechen mejor los forrajes y el concentrado (Castro-Flores y Elizondo-Salazar, 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

El estudio se realizó de noviembre de 2024 a marzo de 2025 en la Unidad Experimental del Departamento de Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN-UL), localizada en las coordenadas 25°33'23" N y 103°22'15" O, a una altitud de 1,120 m (Figura 5). Durante el periodo experimental, la región presentó una temperatura mínima de -3.3 °C en enero y una máxima de 41.2 °C en marzo, con promedios que oscilaron entre los 10 °C por las mañanas y los 28 °C en las horas más cálidas, así como una humedad relativa con promedios máximos de 55-60 % por las mañanas y promedios mínimos de 20-25 % al mediodía y por la tarde.



Figura 5. Mapa de la unidad experimental. Fuente: Google maps. Recuperado el 13 de junio de 2026.

3.2. Diseño experimental

El estudio se llevó a cabo bajo un diseño en bloques completos al azar, utilizando un total de 10 becerros Holstein Friesian machos, con un peso promedio inicial de 38 kg. Los bloques se conformaron con base en el peso vivo, y dentro de cada

bloque los animales fueron asignados aleatoriamente a los tratamientos experimentales. Cada becerro se consideró como una unidad experimental independiente. Los tratamientos estuvieron conformados de la siguiente manera: el tratamiento T1: testigo y el tratamiento T2: 10 g/día de un compuesto probiótico-prebiótico. La suplementación se realizó en una dosis aplicada por la tarde en el sustituto de leche, añadiendo el compuesto al sustituto de leche justo antes de ofrecerlo a cada animal.



Figura 6. Preparación de la dosis del compuesto probiótico-prebiótico. Fuente: elaboración propia.

3.3. Manejo general

Durante la etapa pre-destete a los animales se les suministraron 6 litros diarios de sustituto de leche con una cantidad de sólidos de 14% durante 30 días (Figura 6), asimismo la cantidad de litros disminuyó a 3 litros durante los últimos 15 días. Se ofreció concentrado iniciador *ad libitum* (Cuadro 1), desde el primer día de vida, donde la cantidad ofrecida se ajustó de acuerdo con el consumo individual, asimismo como fuente de forraje en la etapa post- destete se administró heno de alfalfa (Cuadro 2), donde la cantidad fue ajustada al consumo de los mismos.

Además, se ofreció agua potable *ad libitum* desde el primer día de vida en cubetas individuales, la cual fue renovada dos veces al día (7:00 y 17:00 h respectivamente).



Figura 7. Suministro de sustituto de leche. Fuente: elaboración propia

Cuadro 1. Análisis químico nutricional del concentrado iniciador.

Componente	Valor
MS%	94.26
Proteína cruda	18.76
Cenizas	7.38
Fibra cruda	9.38
Fibra detergente ácida	13.11
Fibra detergente neutra	24.55
Carbohidratos no fibrosos	45.63
Extracto etereo	3.67

MS: Materia seca

Cuadro 2. Análisis químico nutricional del heno de alfalfa.

Componente	Valor
------------	-------

MS%	94.65
Proteína cruda	15.13
Cenizas	8.08
Fibra detergente acida	36.42
Fibra detergente neutra	49.93
Carbohidratos no fibrosos	26.10
Extracto etéreo	1.68

MS: Materia seca

Los becerros se alojaron en corrales metálicos individuales (Figura 7), los cuales fueron previamente lavados y desinfectados. Además, los corrales se desinfectaron de manera diaria mediante aspersion con un desinfectante comercial (Animal care®). Se retiró el material orgánico acumulado de manera rutinaria.

3.4. Variables

Las variables evaluadas fueron la incidencia de enfermedades digestivas, la incidencia de enfermedades respiratorias, la incidencia de enfermedades mixtas y la supervivencia de los becerros, registradas en ambos tratamientos durante las etapas pre y post-destete. La valoración del estado de salud se realizó mediante observación clínica diaria de cada becerro, considerando la aparición de signología característica de cada tipo de afección.

Enfermedades digestivas: Se registró como caso digestivo a todo becerro que presentara diarrea, identificada por la aparición de heces de consistencia acuosa o líquida. Adicionalmente, se consideraron signos asociados como decaimiento,

deshidratación y disminución del consumo de sustituto de leche y de concentrado, los cuales permitieron confirmar la presencia del cuadro digestivo.

Enfermedades respiratorias: Se registró como caso respiratorio a todo becerro que presentara signología compatible con afección de las vías respiratorias, considerando la presencia de secreción nasal, secreción ocular o lagrimeo, tos, respiración dificultosa y cambios en la actitud del animal, tales como apatía, postura decaída o reducción de la actividad.

Enfermedades mixtas: Se registró como caso mixto a todo becerro que presentara de manera conjunta signología digestiva y respiratoria durante el mismo episodio, distinguiendo dos secuencias de aparición según el orden de los signos: diarrea seguida de neumonía, cuando primero se observó la signología digestiva y posteriormente la respiratoria, y neumonía seguida de diarrea, cuando primero apareció la signología respiratoria y después la digestiva.

Supervivencia: Se registró la supervivencia de cada becerro durante todo el periodo experimental, considerando la mortalidad como evento de interés y anotando el día de vida en que ocurrió cada deceso. Los becerros que permanecieron vivos al finalizar el estudio se consideraron observaciones censuradas.

Cada becerro se evaluó de manera individual a lo largo de todo el periodo experimental, y los casos se contabilizaron para estimar la incidencia de cada tipo de enfermedad y la supervivencia en ambos grupos.

3.5. Análisis estadístico

La incidencia de enfermedades digestivas, respiratorias y mixtas se presentó mediante estadística descriptiva, expresada como el porcentaje de animales afectados en cada tratamiento. Por su parte, la supervivencia de los becerros durante el periodo experimental se analizó mediante curvas de Kaplan-Meier, considerando la mortalidad como evento de interés y a los animales que permanecieron vivos al finalizar el estudio como observaciones censuradas. Las diferencias en la supervivencia entre tratamientos se evaluaron mediante las pruebas de Log-rank (Mantel-Cox) y Gehan-Breslow-Wilcoxon, cuyos estadísticos se expresaron como valores de Chi-cuadrada (χ^2), y adicionalmente se estimó el hazard ratio (HR) con su respectivo intervalo de confianza al 95 %. Se consideró diferencia estadística cuando $P \leq 0.05$. Todos los análisis se realizaron con el software GraphPad Prism versión 8.0 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Incidencia de enfermedades digestivas, respiratorias y mixtas

La incidencia de enfermedades digestivas, respiratorias, mixtas y otros padecimientos se presenta en el Cuadro 3. La totalidad de los becerros de ambos grupos presentó enfermedad digestiva (diarrea) durante el periodo experimental (100 %, 5/5 en cada tratamiento), mientras que la incidencia de enfermedad respiratoria (neumonía) fue del 60 % (3/5) en ambos grupos, al igual que la incidencia de enfermedades mixtas (60 %, 3/5 en cada tratamiento). Adicionalmente, se registró un caso clasificado dentro de la categoría Otros en el grupo testigo (20 %, 1/5), mientras que en el grupo suplementado no se observaron casos de este tipo (0 %, 0/5). No se observaron diferencias aparentes entre el grupo testigo (T1) y el suplementado (T2), lo que indica que, bajo las condiciones del presente estudio, la suplementación con el compuesto probiótico-prebiótico no modificó la presentación de las enfermedades evaluadas.

Cuadro 3. Incidencia de enfermedades digestivas, respiratorias y mixtas en becerros Holstein Friesian de los grupos testigo (T1) y suplementado (T2).

Variable	T1	T2
Beceros con diarrea (%)	100 (5/5)	100 (5/5)
Beceros con neumonía (%)	60 (3/5)	60 (3/5)
Beceros con diarrea y neumonía (%)	60 (3/5)	60 (3/5)
Otros	20 (1/5)	0 (0/5)
Total de becerros enfermos (%)	100 (5/5)	100 (5/5)

La elevada incidencia de diarrea coincide con lo descrito por Windeyer et al. (2022), quienes señalan que la diarrea neonatal continúa siendo una de las principales causas de morbilidad en becerros, debido a la inmadurez del sistema inmunológico y a la transición fisiológica que ocurre después del nacimiento. En el presente estudio, todos los becerros presentaron al menos un episodio de enfermedad digestiva, lo que indica que estuvieron expuestos a factores del ambiente o del manejo que pudieron favorecer la aparición de estos problemas durante el periodo de crianza. Un factor determinante es que los becerros no recibieron calostro, condición que compromete la transferencia de inmunidad pasiva y eleva de forma sustancial el riesgo de enfermedad. En un estudio realizado en la misma zona árida del norte de México, Olivera et al. (2024) reportaron que los becerros con falla en la transferencia de inmunidad pasiva tuvieron 1.9 veces más probabilidad de presentar diarrea y 1.4 veces más de presentar neumonía, y que un episodio de diarrea predisponía a la aparición posterior de neumonía (OR = 3.8). Esta asociación entre el cuadro digestivo y el respiratorio explica la elevada proporción de enfermedades mixtas observada en ambos grupos (60 %) y coincide con lo descrito por Bokma et al. (2024), quienes mencionan que los becerros que enfrentan procesos entéricos tempranos pueden experimentar alteraciones en la función inmunológica y en el balance energético, aumentando su vulnerabilidad a desarrollar infecciones respiratorias posteriores. De manera congruente, Gomes et al. (2021) identificaron a la diarrea como un factor de riesgo significativo para el desarrollo posterior de enfermedad respiratoria, en especial en los animales más jóvenes.

Es importante considerar que el presente trabajo se desarrolló con un total de 10 becerros, lo que permitió realizar un seguimiento intensivo de la salud de cada animal. Según Renaud et al. (2021), los estudios con monitoreo clínico frecuente ofrecen una visión más precisa de las enfermedades en becerros, ya que permiten detectar signos tempranos. No obstante, este tamaño de muestra reducido ($n = 5$ por grupo) limita de manera importante el poder estadístico para detectar diferencias entre tratamientos y aumenta la influencia de la variación biológica individual.

Aunque los probióticos han sido propuestos como herramientas prometedoras para mejorar la salud intestinal y fortalecer la respuesta inmune, sus efectos no siempre son consistentes entre estudios. Islam et al. (2022) reportaron que la eficacia de estos aditivos depende de factores como la cepa utilizada, la dosis administrada, la duración del suministro y las condiciones de manejo del sistema productivo, lo cual coincide con lo descrito por Wang et al. (2023) en un metaanálisis donde la magnitud de la respuesta dependió de la cepa, la dosis y el método de administración. La revisión de Cangiano et al. (2020) añade que la mayoría de las respuestas a la suplementación con pro y prebióticos en becerros han sido no significativas, y que los efectos benéficos se observan con mayor claridad cuando el aditivo se administra durante un episodio de enfermedad y no de forma preventiva. De manera congruente, Lucey et al. (2021), en un ensayo con 1 801 becerras, no encontraron efecto de la suplementación con probióticos, prebióticos ni simbióticos sobre la duración de la diarrea ni sobre la incidencia de neumonía. Los resultados obtenidos en este estudio indican que el efecto del probiótico fue limitado, ya que no se observaron cambios en los parámetros evaluados.

Un factor adicional que pudo enmascarar el efecto del aditivo es el uso intensivo de antimicrobianos durante el periodo experimental. Dado que los probióticos ejercen su acción mediante la colonización del tracto gastrointestinal, la exclusión competitiva de patógenos y la producción de ácidos grasos de cadena corta (Cangiano *et al.*, 2020), la administración concurrente de antibióticos de amplio espectro pudo alterar el establecimiento de la microbiota benéfica aportada por el probiótico, atenuando su posible efecto. En conjunto, los resultados obtenidos indican que la salud de los becerros durante la crianza depende de factores como la alimentación, la inmunidad, el ambiente y el manejo, más que de un único aditivo, lo cual coincide con lo reportado en otros estudios, donde no existe una sola causa de las enfermedades, sino la interacción de varios factores.

Desde el punto de vista metodológico, se recomienda que futuros estudios incrementen el número de unidades experimentales para alcanzar un poder estadístico adecuado, evalúen la suplementación en becerros con transferencia de inmunidad pasiva garantizada, y consideren cuantificar variables intermedias (puntaje fecal estandarizado, conteo de patógenos entéricos y poblaciones de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* en heces) que permitan detectar efectos del aditivo sobre la microbiota aun cuando la incidencia clínica no difiera entre grupos.

4.2. Supervivencia

La supervivencia acumulada de los becerros durante el periodo experimental se evaluó mediante curvas de Kaplan-Meier (Figura 8). En el T1 se registraron dos eventos de mortalidad, ocurridos en los días 44 y 52 de vida, mientras que en el T2

se observaron dos muertes, registradas en los días 14 y 118; al finalizar el periodo experimental, tres de los cinco becerros de cada grupo permanecieron vivos, lo que representó una supervivencia final del 60 % en ambos tratamientos.

Las curvas de supervivencia mostraron diferencias en la distribución temporal de los eventos, ya que se observó una muerte temprana en el T2 (día 14), mientras que las muertes del T1 ocurrieron en una etapa intermedia del estudio (días 44 y 52); sin embargo, ambas curvas convergieron hacia una supervivencia similar al final del periodo de evaluación.

La comparación de curvas mediante la prueba de Log-rank (Mantel-Cox) no detectó diferencias significativas entre tratamientos ($\chi^2 = 0.052$, gl = 1, P = 0.8193), y de manera consistente, la prueba de Gehan-Breslow-Wilcoxon tampoco mostró diferencias significativas entre grupos ($\chi^2 = 0.044$, gl = 1, P = 0.8330). Asimismo, el riesgo relativo de mortalidad estimado mediante el *hazard ratio* fue de 1.26 (IC95 %: 0.17-9.13), lo que indica una amplia variabilidad en la estimación debido al reducido número de eventos registrados. En conjunto, estos resultados sugieren que el tratamiento evaluado no modificó la probabilidad de supervivencia de los becerros durante el periodo estudiado.

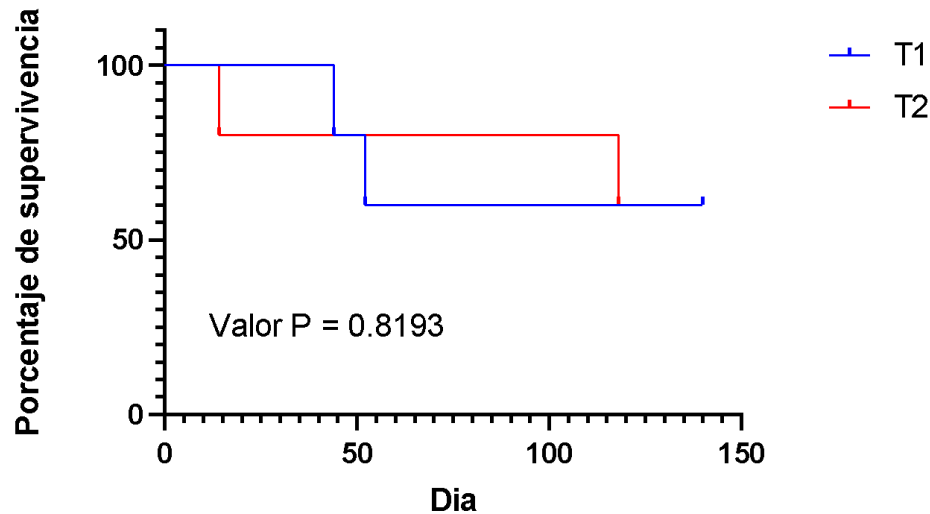


Figura 8. Curvas de supervivencia de Kaplan-Meier para la mortalidad de becerros durante los primeros 140 días de vida.

Durante las primeras semanas de vida, los becerros presentan una mayor vulnerabilidad frente a agentes infecciosos debido a la inmadurez de su sistema inmunitario y a los cambios fisiológicos propios de la etapa neonatal; además, la incidencia de enfermedades digestivas suele concentrarse durante las primeras semanas de vida, mientras que las respiratorias pueden presentarse conforme avanza la crianza (Cho y Yoon, 2014). Estos hallazgos concuerdan con lo descrito por Dubrovsky et al. (2019), quienes reportaron que la prevención de enfermedades digestivas y respiratorias durante la etapa predestete tiene un impacto importante sobre la supervivencia y el desempeño futuro de los becerros. La supervivencia del 60 % obtenida en este estudio es notablemente inferior a la reportada en sistemas comerciales, donde la mortalidad predestete suele ubicarse entre el 3 y el 8 % (Uribe et al., 2018; Dubrovsky et al., 2019); esta diferencia es coherente con el contexto del presente trabajo, en el que los becerros no recibieron calostro y, en consecuencia, carecieron de la protección conferida por la inmunidad pasiva.

Asimismo, Urie et al. (2018) demostraron que los becerros que experimentan algún evento de enfermedad durante la crianza tienen 4.7 veces más probabilidad de morir que los animales sanos.

Por otra parte, Mee et al. (2021) mencionan que la supervivencia de los becerros durante el periodo predestete es el resultado de la interacción entre factores como la transferencia de inmunidad pasiva, la nutrición y las condiciones de manejo. Abuelo et al. (2021) indican que la capacidad del becerro para mantener el equilibrio fisiológico frente a situaciones de estrés o enfermedad es determinante para su supervivencia; considerando que en esta investigación todos los becerros presentaron al menos un episodio digestivo y una proporción importante desarrolló enfermedad respiratoria, es posible que los animales enfrentaran desafíos sanitarios que pusieron a prueba sus mecanismos de respuesta y adaptación durante la crianza.

Lombard et al. (2020) mencionan que la mortalidad en becerros es un fenómeno multifactorial y que la presencia de enfermedad no siempre deriva en la muerte del animal, especialmente cuando existe una detección temprana y atención oportuna. Esto coincide con lo observado en el presente estudio, donde, a pesar de la alta incidencia de enfermedades digestivas y respiratorias, varios animales lograron completar el periodo experimental, lo que sugiere que el monitoreo intensivo y el manejo aplicado pudieron contribuir a mantener la viabilidad de los becerros, en concordancia con lo señalado por Renaud et al. (2018) respecto al valor del seguimiento sanitario frecuente para reducir las pérdidas durante la crianza. Aunque los probióticos han mostrado efectos favorables en algunos estudios, sus beneficios

pueden variar dependiendo de las condiciones en las que se utilicen; en esta investigación, la suplementación no mostró un efecto claro sobre la supervivencia, lo que debe interpretarse con cautela considerando el número limitado de becerros y la interacción de múltiples factores más que el efecto de un solo tratamiento.

Con base en lo anterior, se recomienda que la evaluación del efecto de aditivos sobre la supervivencia se realice con tamaños de muestra sustancialmente mayores, idealmente mediante estudios multicéntricos que acumulen un número suficiente de eventos. Igualmente, se sugiere garantizar una adecuada transferencia de inmunidad pasiva como condición basal, de manera que el efecto del probiótico-prebiótico pueda evaluarse sin la interferencia del elevado riesgo de mortalidad asociado a la ausencia de calostro.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que la suplementación diaria con 10 g de un compuesto probiótico-prebiótico no mejoró la salud ni la supervivencia de los becerros Holstein Friesian durante las etapas pre y post-destete. Ambos grupos presentaron la misma incidencia de enfermedades digestivas, respiratorias y mixtas, así como una supervivencia final equivalente; para esta última, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre el grupo suplementado y el testigo.

Estos resultados sugieren que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, otros factores relacionados con el estado sanitario, el ambiente y el manejo ejercieron una mayor influencia sobre la salud y la supervivencia que la suplementación con el aditivo. La elevada presentación de enfermedades durante la crianza refleja la marcada vulnerabilidad del becerro en sus primeras semanas de vida, periodo en el que su sistema inmunitario aún es inmaduro y depende en gran medida de una adecuada transferencia de inmunidad pasiva para responder a los desafíos sanitarios del entorno. Se recomienda evaluar este tipo de aditivos con un mayor número de unidades experimentales e incorporar nuevas tecnologías de monitoreo y diagnóstico, como técnicas moleculares para caracterizar la microbiota intestinal, que permitan detectar con mayor precisión sus efectos sobre la salud del becerro.

6. REFERENCIAS

- Abi Younes, J. N., Campbell, J. R., Gow, S. P., Woolums, A. R. y Waldner, C. L. 2024. Association between respiratory disease pathogens in calves near feedlot arrival with treatment for bovine respiratory disease and subsequent antimicrobial resistance status. *Frontiers in Veterinary Science*. 11:1416436.
- Abuelo, A., Cullens, F., Hanes, A. y Brester, J. L. 2021. Impact of 2 versus 1 colostrum meals on failure of transfer of passive immunity, pre-weaning morbidity and mortality, and performance of dairy calves in a large dairy herd. *Animals*. 11(3):782.
- Ali, M., Xu, C., Hina, Q., Li, A. y Li, K. 2024. Interrelations between probiotics, gut microbiota, intestinal barrier, and immune response focusing on diarrhea in dairy calves. *Journal of Integrative Agriculture*. 25(1):16-29.
- Argenzio, R. A. 1985. Pathophysiology of neonatal calf diarrhea. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 1(3):461-469.
- Arshad, M. A., Hassan, F. U., Rehman, M. S., Khan, M. S. y Rahman, M. A. 2020. Probiotics and their role in improving calf health and performance: A review. *Tropical Animal Health and Production*. 52(5):2479-2489.
- Bach, A., Calsamiglia, S. y Stern, M. D. 2005. Nitrogen metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*. 88(1):9-19.

- 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 postweaning ruminant. *Journal of Dairy Science*. 87(E. Suppl.):E55-E65.
- Beam, A. L., Lombard, J. E., Kopral, C. A., Garber, L. P., Winter, A. L., Hicks, J. A. y Schlater, J. L. 2009. Prevalence of failure of passive transfer of immunity in newborn heifer calves and associated management practices on US dairy operations. *Journal of Dairy Science*. 92(8):3973-3980.
- Berman, J. 2024. Literature review of the principal diagnostic tests to detect bovine respiratory disease in pre-weaned dairy and veal calves. *Animals*. 14(2):329.
- Bermingham, E. N., Young, W., Kittelmann, S., Kerrisk, K. L. y Roche, J. R. 2020. Preweaning nutrition and management of dairy calves: Impacts on health and productivity. *Animal Feed Science and Technology*. 266:114504.
- Bittar, C. M. M., Gallo, M. P., Silva, J. T., de Paula, M. R., Poczynek, M. y Mourão, G. B. 2020. Gradual weaning does not improve performance for calves with low starter intake at the beginning of the weaning process. *Journal of Dairy Science*. 103(5):4672-4680.
- Bokma, J., Pardon, B., Deprez, P. y Hostens, M. 2024. Interactions between gastrointestinal and respiratory diseases in dairy calves. *Veterinary Research Communications*. 48(1):1-12.

- Brunauer, M., Roch, F. F. y Conrady, B. 2021. Prevalence of worldwide neonatal calf diarrhoea caused by bovine rotavirus in combination with bovine coronavirus, *Escherichia coli* K99 and *Cryptosporidium* spp. *Animals*. 11(4):1014.
- Cangiano, L. R., Yohe, T. T., Steele, M. A. y Renaud, D. L. 2020. Invited review: Strategic use of microbial-based probiotics and prebiotics in dairy calf rearing. *Applied Animal Science*. 36(5):630-651.
- Casarotto, L. T., Jones, H. N., Chavatte-Palmer, P. y Dahl, G. E. 2025. Placental physiology and fetal programming in ruminants under heat stress. *Biology of Reproduction*. ioaf047.
- Castro-Flores, P. y Elizondo-Salazar, J. A. 2012. Crecimiento y desarrollo ruminal en terneros alimentados con iniciador sometido a diferentes procesos. *Agronomía Mesoamericana*. 23(2):343-352.
- Chase, C. C., Hurley, D. J. y Reber, A. J. 2008. Neonatal immune development: Role of maternal antigen-specific nutrients. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 24(1):87-104.
- Cho, Y. y Yoon, K. J. 2014. An overview of calf diarrhea: infectious etiology, diagnosis, and intervention. *Journal of Veterinary Science*. 15(1):1-17.
- Chowdhury, M. R., Hassan, M. y Shimosato, T. 2025. Gut health management in livestock: roles of probiotics, prebiotics, and synbiotics in growth, immunity, and microbiota modulation. *Veterinary Research Communications*. 49(6):361.

- Church, D. C. 1998. *The Ruminant Animal: Digestive Physiology and Nutrition*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Davenport, K. M., Ortega, M. S., Johnson, G. A., Seo, H. y Spencer, T. E. 2023. Implantation and placentation in ruminants. *Animal*. 17(S1):100796.
- Deng, J., Wang, C., Cai, C. y Chen, S. 2023. Effects of probiotics and synbiotics on growth performance and health in weaned calves. *Frontiers in Microbiology*. 14:1249628.
- Drackley, J. K. 2008. Calf nutrition from birth to breeding. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 24(1):55-86.
- Drackley, J. K. 2019. Biology of dairy calves and nutrition strategies for improved health and growth. *Journal of Dairy Science*. 102(1):368-381.
- Du, Y., Gao, Y., Hu, M., Hou, J., Yang, L., Wang, X., Du, W., Liu, J. y Xu, Q. 2023. Colonization and development of the gut microbiome in calves. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 14:46.
- Dubrovsky, S. I., Van Eenennaam, A. L., Karle, B. M., Rossitto, P. V., Lehenbauer, T. W. y Aly, S. S. 2019. Bovine respiratory disease (BRD) cause-specific and overall mortality in preweaned calves on California dairies: The BRD 10K study. *Journal of Dairy Science*. 102(8):7320-7328.
- Dudek, K. y Nicholas, R. A. J. 2024. Recent role of microorganisms of the Mollicutes class in the etiology of bovine respiratory disease. *Pathogens*. 13(11):951.

- Elghandour, M. M. Y., Salem, A. Z. M. y Márquez, O. 2020. Impacto de probióticos en la salud y productividad de rumiantes jóvenes. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 11(4):765-779.
- Elizondo-Salazar, J. A. 2013. Requerimientos de proteína para terneras lecheras. *Nutrición Animal Tropical*. 7(1):40-50.
- Engelking, L. E., Matsuba, T., Inouchi, K., Surgino, T. y Oba, M. 2020. Effects of feeding hay and calf starter as a mixture or as separate components to Holstein calves on intake, growth, and blood metabolite and hormone concentration. *Journal of Dairy Science*. 103(5):1-9.
- FAO. 2023. Meat, milk and eggs: essential sources of nutrients. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- FAO. 2024. Meat market review: Emerging trends and outlook in 2024. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- FAO. 2025. Statistical yearbook 2024: World food and agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- Flores-Bernal, M. J., Ruiz-López, F. de J., Guerrero-Carrillo, M. de J. y Romano-Muñoz, J. L. 2006. Respuesta productiva de becerros Holstein alimentados con alfalfa de diferente calidad y enzimas fibrolíticas en la etapa pre y pos destete. *Técnica Pecuaria en México*. 44(3):313-328.

- Fonseca Martinez, B. A., Arevalo Mayorga, A., Page, J. y Habing, G. 2025. Biosecurity in dairy calf production: A scoping review. *Preventive Veterinary Medicine*. 246:106697.
- Gao, Y., Zhang, W., Zhang, T., Yu, Y., Mao, S. y Liu, J. 2024. Fructo-oligosaccharide supplementation enhances the growth of nursing dairy calves while stimulating the persistence of *Bifidobacterium* and hindgut microbiome's maturation. *Journal of Dairy Science*. 107(8):5626-5638.
- García-Romo, D., Cruz-Vázquez, C., Quezada-Tristán, T., Silva-Peña, E., Valdivia-Flores, A., Flores-Vázquez, S. y Ramos-Parra, M. 2014. Prevalencia y factores de riesgo asociados a la infección por *Cryptosporidium* spp. en becerras lactantes en Aguascalientes, México. *Veterinaria México OA*. 1(1):1-13.
- Gaudino, M., Nagamine, B., Ducatez, M. F. y Meyer, G. 2022. Understanding the mechanisms of viral and bacterial coinfections in bovine respiratory disease: A comprehensive literature review of experimental evidence. *Veterinary Research*. 53:70.
- Ghaffari, M. H., Hammon, H. M. y Koch, C. 2025. Early rumen development in calves: Biological processes and nutritional strategies. A mini review. *JDS Communications*. 6(3):427-431.
- Giuffrida-Mendoza, M., Arenas de Moreno, L. y Huerta-Leidenz, N. 2014. Composición nutritiva de la carne de ganado tropical venezolano. *Anales Venezolanos de Nutrición*. 27(1):167-176.

- Godden, S. 2008. Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 24(1):19-39.
- Godden, S. M., Lombard, J. E. y Woolums, A. R. 2019. Colostrum management for dairy calves. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 35(3):535-556.
- Gomes, V., Madureira, K. M., Soriano, S., Della Libera, A. M. M. P. y Blagitz, M. G. 2021. Morbidity and mortality in Holstein calves from birth to 145 days of age on a large dairy farm in Brazil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 73(4):793-800.
- González-Avalos, R., Peña-Revuelta, B. P., Ramírez-Uranga, K. Q., González-Avalos, J. y Parra-López, M. E. 2022. Costos de alimentación y salud en becerras Holstein bajo diferentes sistemas de alimentación con leche entera. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 50(1):185-194.
- González-Avalos, R., Peña-Revuelta, B. P., Rodríguez-Dimas, N., Ávila-Cisneros, R. y González-Avalos, J. 2019. Costos de alimentación en becerras Holstein suministrando leche entera adicionada con extracto de plantas medicinales. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 45(1):339-348.
- Gunn, A. J., Dalton, J. P. y Coussens, P. M. 2019. Review: The role of colostrum cells in neonatal calves. *Journal of Dairy Science*. 102(11):10649-10662.
- Hammon, H. M., Liermann, W., Frieten, D. y Koch, C. 2019. Review: Importance of colostrum supply and milk feeding intensity on gastrointestinal and systemic development in calves. *Animal*. 14(11):133-143.

- Hammon, H., Fritten, D., Gerbert, C., Koch, C. y Dusel, G. 2021. Review: Starch and fiber in calf nutrition: effects on gastrointestinal development and function. *Animal*. 15(S1):100074.
- Hartinger, T., Pacífico, C., Sener-Aydemir, A., Poier, G., Kreuzer-Redmer, S., Terler, G., Klevenhusen, F. y Zebeli, Q. 2024. Dietary carbohydrate sources differently prime the microbial ecosystem but not the epithelial gene expression profile along the complete gut of young calves. *Animal Microbiome*. 6:12.
- Heinemann, C., Leubner, C. D., Hayer, J. J. y Steinhoff-Wagner, J. 2021. Hygiene management in newborn individually housed dairy calves focusing on housing and feeding practices. *Journal of Animal Science*. 99(1):skaa391.
- Heinrichs, A. J., Jones, C. M. y Heinrichs, B. S. 2009. Effects of a prebiotic supplement on health of neonatal dairy calves. *Livestock Science*. 125(2-3):149-154.
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C. y Sanders, M. E. 2014. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 11(8):506-514.
- Hulbert, L. E. y Moisés, S. J. 2016. Stress, immunity, and the management of calves. *Journal of Dairy Science*. 99(4):3199-3216.

- Islam, M. A., Klein-Jöbstl, D. y Schwendenwein, I. 2022. Effects of probiotic supplementation on calf growth performance and health: a review. *Animals*. 12(15):1-18.
- Jessop, E., Li, L., Renaud, D. L., Verbrugghe, A., Macnicol, J., Gamsjäger, L. y Gomez, D. E. 2024. Neonatal calf diarrhea and gastrointestinal microbiota: Etiologic agents and microbiota manipulation for treatment and prevention of diarrhea. *Veterinary Sciences*. 11(3):108.
- Kamel, M. S., Davidson, J. L. y Verma, M. S. 2024. Strategies for bovine respiratory disease (BRD) diagnosis and prognosis: A comprehensive overview. *Animals*. 14(4):627.
- Khan, M. A., Weary, D. M. y von Keyserlingk, M. A. G. 2011. Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*. 94(2):1071-1081.
- Khan, M. A., Weary, D. M. y von Keyserlingk, M. A. G. 2022. Effects of milk and starter feeding strategies on growth, rumen development, and behavior in dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 105(3):2197-2210.
- Kim, Y. H., Toji, N., Kizaki, K., Kushibiki, S., Ichijo, T. y Sato, S. 2023. Nutritional regulation of rumen epithelial development and microbial colonization in calves. *Frontiers in Veterinary Science*. 10:1182456.
- Klein-Jöbstl, D., Iwersen, M. y Drillich, M. 2014. Farm characteristics and calf management practices on dairy farms with and without diarrhea: A case-control study to investigate risk factors for calf diarrhea. *Journal of Dairy Science*. 97(8):5110-5119.

- Kumar, M., Kala, A., Chaudhary, L. C., Agarwal, N. y Kochewad, S. A. 2022. Microencapsulated and lyophilized *Lactobacillus acidophilus* improved gut health and immune status of preruminant calves. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 14(3):523-534.
- Li, K., Shi, B. y Na, R. 2023. The colonization of rumen microbiota and intervention in pre-weaned ruminants. *Animals*. 13(6):994.
- Lombard, J., Urie, N., Garry, F., Holliman, D., James, J., Quigley, J., Robison, J., Shivley, C., Smith, T. y Bean, A. 2020. Consensus recommendations on calf- and herd-level passive immunity in dairy calves in the United States. *Journal of Dairy Science*. 103(8):7611-7624.
- Lucey, P. M., Lean, I. J., Aly, S. S., Golder, H. M., Block, E., Thompson, J. S. y Rossow, H. A. 2021. Effects of mannan-oligosaccharide and *Bacillus subtilis* supplementation to preweaning Holstein dairy heifers on body weight gain, diarrhea, and shedding of fecal pathogens. *Journal of Dairy Science*. 104(4):4290-4302.
- Mazzarella, R., Cajas, Y. N., González Martínez, M. E. y Rizos, D. 2024. Extracellular vesicles: Emerging paradigms in bovine embryo-maternal communication. *Animal Reproduction*. 21(3):e20240065.
- Meale, S. J., Chaucheyras-Durand, F., Berends, H., Guan, L. L. y Steele, M. A. 2017. From pre- to postweaning: Transformation of the young calf's gastrointestinal tract. *Journal of Dairy Science*. 100(7):5984-5995.

- Meganck, V., Hoflack, G. y Opsomer, G. 2014. Advances in prevention and therapy of neonatal dairy calf diarrhoea: A systematic review with emphasis on colostrum management and fluid therapy. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 56:75.
- Mellado, M., Carrillo-Moreno, E., De Santiago, Á., Macías-Cruz, U., García, J. E., Avendaño-Reyes, L. y Carrillo-Castellanos, E. 2021. Growth performance and mammary gland development of Holstein calves fed milk with 15% solids and treated with growth promoters. *Tropical Animal Health and Production*. 53:467.
- Mottet, A. y Tempio, G. 2017. Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*. 73(2):245-256.
- Mousaie, M. y Hammon, H. M. 2025. Early rumen development in calves: Biological processes and nutritional strategies. A mini-review. *JDS Communications*. 6(3):427-431.
- Müller, C. B. M., Tümmeler, L. M., Reyer, H., Viergutz, T. y Kuhla, B. 2024. Interactions between rumen epithelium-associated microbiota and host immunological and metabolic adaptations in response to different milk replacer feeding intensities in dairy calves. *Animal Nutrition*. 19:287-300.
- Muñoz Verbel, D., Cueto Almeida, E., Morales Meléndez, V., García Lombana, A., Aparicio Marengo, D. y Márquez Lázaro, J. 2023. Proteínas oxidadas de origen animal y su impacto sobre la salud intestinal. *Medicina U.P.B.* 42(1):49-56.

- Nemocón-Cobos, A. M., Angulo-Arizala, J., Gallo-Marín, J. A. y Mahecha-Ledesma, L. 2020. Alimentación: factor estratégico durante la crianza artificial de terneros provenientes de lecherías. *Agronomía Mesoamericana*. 32(3):803-819.
- OECD-FAO. 2024. OECD-FAO agricultural outlook 2024-2033. Organisation for Economic Co-operation and Development / Food and Agriculture Organization. París/Roma.
- Olivera, M. T., Mellado, J., García, J. E., Encina, J. A., Álvarez, P., Macías-Cruz, U., Avendaño, L. y Mellado, M. 2024. The effect of failed transfer of passive immunity and agammaglobulinemia on the occurrence of preweaning diarrhea, pneumonia, and mortality in Holstein calves. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 22(4):20913.
- Otten, N. D., Skarbye, A. P., Krogh, M. A., Michelsen, A. M. y Nielsen, L. R. 2023. Monitoring bovine dairy calf health and related risk factors in the first three months of rearing. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 65:45.
- Pokhrel, B. y Jiang, H. 2024. Postnatal growth and development of the rumen: Integrating physiological and molecular insights. *Biology*. 13(4):269.
- Pulina, G., Acciaro, M., Atzori, A. S., Battacone, G., Crovetto, G. M., Mele, M., Pirlo, G. y Rassu, S. P. G. 2021. Beef for future: Technologies for a sustainable and profitable beef industry. *Animal*. 15(11):100358.
- Rabaza, A., Fraga, M., Mendoza, A. y Giannitti, F. 2023. A meta-analysis of the effects of colostrum heat treatment on colostral viscosity, immunoglobulin G concentration,

and the transfer of passive immunity in newborn dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 106(10):7203-7219.

Ramani, A., Taherabbas, S. y Manik, S. 2024. Bovine colostrum as a promising nutraceutical: A systematic review. *Sustainable Food Technology*. 2:531-547.

Renaud, D. L., Kelton, D. F., LeBlanc, S. J., Haley, D. B. y Duffield, T. F. 2021. Calf management and disease detection in dairy herds: implications for health and welfare. *Journal of Dairy Science*. 104(5):5678-5689.

Robi, D. T., Mossie, T. y Temteme, S. 2024. A comprehensive review of the common bacterial infections in dairy calves and advanced strategies for health management. *Veterinary Medicine: Research and Reports*. 15:1-14.

Ruxton, C. H. S. y Gordon, S. 2024. Animal board invited review: The contribution of red meat to adult nutrition and health beyond protein. *Animal*. 18(3):101103.

Safaei, K. y Yang, W. 2017. Effects of grain processing with focus on grinding and steam-flaking on dairy cow performance. *Dairy Cow Performance*. 1(1):118-126.

Salazar-Acosta, A. y Elizondo-Salazar, J. A. 2018. El tratamiento térmico del calostro aumenta la absorción de inmunoglobulinas G en terneras Holstein. *Agronomía Mesoamericana*. 30(1):229-238.

Saucedo, J. S., Avendaño, L., Álvarez, F. D., Rentería, T. B., Moreno, J. F. y Montaña, M. F. 2005. Comparación de dos sustitutos de leche en la crianza de becerras Holstein en el valle de Mexicali, B.C. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 39(8):147-152.

- Sharma, A. N., Chaudhary, P., Kumar, S., Grover, C. R. y Mondal, G. 2023. Effect of synbiotics on growth performance, gut health, and immunity status in pre-ruminant buffalo calves. *Scientific Reports*. 13:10184.
- Silva, F. G., Silva, S. R., Pereira, A. M. F., Cerqueira, J. L. y Conceição, C. 2024. A comprehensive review of bovine colostrum components and selected aspects regarding their impact on neonatal calf physiology. *Animals*. 14(7):1130.
- Stadnik, J. 2024. Nutritional value of meat and meat products and their role in human health. *Nutrients*. 16(10):1446.
- Steele, M. A., Penner, G. B., Chaucheyras-Durand, F. y Guan, L. L. 2021. Development and physiology of the rumen and the lower gut: targets for improving gut health. *Journal of Dairy Science*. 104(5):5353-5366.
- Urie, N. J., Lombard, J. E., Shivley, C. B., Kopral, C. A., Adams, A. E., Earleywine, T. J., Olson, J. D. y Garry, F. B. 2018. Preweaned heifer management on US dairy operations: Part V. Factors associated with morbidity and mortality in preweaned dairy heifer calves. *Journal of Dairy Science*. 101(10):9229-9244.
- Van Amburgh, M. E. y Drackley, J. K. 2020. Early life nutrition and rumen development in calves. *Advances in Dairy Technology*. 32:1-15.
- Wang, L., Sun, H., Gao, H., Xia, Y., Zan, L. y Zhao, C. 2023. A meta-analysis on the effects of probiotics on the performance of pre-weaning dairy calves. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 14(1):3.

- Windeyer, M. C., Leslie, K. E., Godden, S. M., Hodgins, D. C., Lissemore, K. D. y LeBlanc, S. J. 2012. The effects of passive immunity, colostrum management, and health on the growth and heifer replacement costs of dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 95(2):1016-1025.
- Windeyer, M. C., Leslie, K. E., Godden, S. M., Hodgins, D. C., Lissemore, K. D. y LeBlanc, S. J. 2022. Factors associated with morbidity and mortality in preweaned dairy calves. *Journal of Dairy Science*. 105(4):3100-3112.
- Wooding, F. B. P. 2022. The ruminant placental trophoblast binucleate cell: An evolutionary breakthrough. *Biology of Reproduction*. 107(3):705-716.
- Wu, Y., Wang, L., Luo, R., Chen, H., Nie, C., Niu, J., Chen, C., Xu, Y., Li, X. y Zhang, W. 2021. Effect of a multispecies probiotic mixture on the growth and incidence of diarrhea, immune function, and fecal microbiota of pre-weaning dairy calves. *Frontiers in Microbiology*. 12:681014.
- Ybalmea, R. 2015. Alimentación y manejo del ternero, objeto de investigación en el Instituto de Ciencia Animal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 49(2):141-152.
- Yescas-Vásquez, G. y Jaimes-Jaimes, J. 2010. Evaluación del desarrollo de becerras lecheras de reemplazo Holstein utilizando decoquinato en el control de coccidiosis. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 40(1):67-69.