

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



Consumo de Mcal en becerras Holstein alimentadas con leche y alimento iniciador
suplementadas con *Bacillus subtilis* PB6

Por:

Rey David Meda Orozco

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Agosto 2026

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

Consumo de Mcal en becerras Holstein alimentadas con leche y alimento iniciador
suplementadas con *Bacillus subtilis* PB6

Por:

Rey David Meda Orozco

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. Laura Alejandra Peña Revuelta
Vocal


Dra. Reyna Roxana Guillén Enriquez
Vocal Suplente


M.V.Z. Eric Alejandro Reyes Ramírez
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México

Agosto 2026



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

Consumo de Mcal en becerras Holstein alimentadas con leche y alimento iniciador
suplementadas con *Bacillus subtilis* PB6

Por:

Rey David Meda Orozco

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Ramiro González Avalos
Asesor Principal



MC. Laura Alejandra Peña Revuelta
Coasesor



Dra. Reyna Roxana Guillén Enríquez
Coasesor



M V Z. Eric Alejandro Reyes Ramírez
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México

Agosto 2026



DEDICATORIAS

A mis padres, Adán Meda Zamudio y Carolina Orozco Enríquez por haberme dado la vida y apoyarme incondicionalmente para obtener un logro tan grande como es la terminación de mis estudios como un profesionista.

A mis hermanos, Felipe De Jesús Meda Orozco y Carolina Meda Orozco, por ser parte de mi familia y darme su ayuda incondicional.

A mis abuelos, Isaac Meda ovando, por ser el abuelo que siempre me apoyo con sus sabios consejos y estar ahí cuando los necesitaba.

A mi tío, José Raúl García Zamudio. Por haberme apoyado en esos momentos que lo necesitaba, siempre fue el mejor consejero.

A toda mi familia, gracias a todos por sus consejos, toda su ayuda y su apoyo, mil gracias a todos los que estuvieron y siguen estando conmigo.

A mi Alma Mater, por aceptarme ser parte de ella y darme una formación como profesionista.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Adán Meda Zamudio y Carolina Orozco Enríquez por su confianza y el apoyo que me brindaron todo este tiempo.

A mis hermanos, Felipe De Jesús Meda Orozco y Carolina Meda Orozco, a quienes quiero mucho.

A mi abuelo, Issac Meda ovando, por ser mi segundo padre y estar ahí cuando los necesitaba.

A toda mi familia, gracias a todos por sus consejos, toda su ayuda y su apoyo, mil gracias a todos los que estuvieron y siguen estando conmigo.

Índice general

DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTOS	ii
Índice general	iii
RESUMEN.....	iv
Índice de cuadros.....	v
Índice de Figuras.....	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Importancia de la etapa pre-destete en becerras Holstein.....	4
2.2. Requerimientos nutricionales en becerras lecheras.....	5
2.3. Consumo de energía metabolizable (Mcal) en becerras.....	7
2.4. Alimentación líquida: leche y sustitutos lácteos	8
2.5. Consumo y función del alimento iniciador	10
2.6. Desarrollo del rumen en becerras.....	11
2.7. Uso de probióticos en la nutrición de becerras	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
5. CONCLUSIONES	27
6. LITERATURA CITADA.....	28

RESUMEN

La etapa pre-destete en becerras lecheras es fundamental para su desarrollo productivo, ya que el consumo de energía metabolizable influye directamente en el crecimiento y la eficiencia nutricional. El objetivo de este estudio fue evaluar el consumo de energía metabolizable (Mcal) en becerras Holstein alimentadas con leche y alimento iniciador, suplementadas con *Bacillus subtilis* PB6. Se utilizaron 26 becerras Holstein, asignadas aleatoriamente en dos grupos (n=13): un grupo control y un grupo suplementado con PB6, durante un periodo de 60 días. El consumo de leche fue determinado por un programa de alimentación establecido, mientras que el consumo de alimento iniciador se registró diariamente. La ingesta de energía metabolizable se estimó a partir del consumo de materia seca y la densidad energética de los alimentos. El consumo de leche fue igual entre tratamientos ($P \geq 0.05$). El consumo de alimento iniciador aumentó con la edad en ambos grupos, sin diferencias significativas ($P \geq 0.05$), aunque el grupo PB6 presentó valores numéricamente superiores. El consumo de energía metabolizable mostró variaciones a lo largo del tiempo, con una disminución en la fase intermedia y un incremento en la etapa final, sin diferencias estadísticas entre tratamientos ($P \geq 0.05$). En conclusión, la suplementación con *Bacillus subtilis* PB6 no afectó significativamente el consumo de energía metabolizable, aunque se observaron tendencias positivas en becerras durante la etapa pre-destete.

Palabras clave: Salud intestinal, Desarrollo ruminal, Microbiota, Bienestar animal

Índice de cuadros

Cuadro 1	Composición nutrimental del alimento iniciador utilizado en la alimentación de las becerras	17
Cuadro 2	Consumo total de Mcal en becerras Holstein con o sin suplementación de probiótico <i>Bacillus subtilis</i> PB6.	24

Índice de Figuras

Figura 1 Consumo de leche por periodos de alimentación. ns = no significativo $p \geq 0.05$	20
Figura 2 Consumo de alimento iniciador por periodos de evaluación. ns = no significativo $p \geq 0.05$	23

1. INTRODUCCIÓN

La etapa de crianza en becerras lecheras, particularmente durante el periodo predestete, representa una fase crítica en la cual se establece el desarrollo fisiológico, metabólico y productivo del animal (Ockenden et al., 2023). Durante este periodo, el consumo de energía metabolizable (Mcal) proveniente de la leche y del alimento iniciador resulta determinante para garantizar un adecuado crecimiento, desarrollo ruminal y eficiencia productiva futura (Williams et al., 2025). Diversos estudios han demostrado que una adecuada ingesta energética en etapas tempranas se relaciona directamente con el incremento en la ganancia diaria de peso, la maduración del tracto gastrointestinal y la posterior productividad en la vida adulta (Antanaiti., 2024).

En sistemas intensivos de producción lechera, el manejo nutricional de becerras Holstein ha evolucionado hacia estrategias que optimizan no solo el aporte energético, sino también la salud intestinal y la eficiencia en la utilización de nutrientes. El uso de probióticos como aditivos funcionales ha cobrado relevancia en los últimos años debido a su capacidad para modular la microbiota intestinal, mejorar la digestibilidad y reducir la incidencia de enfermedades entéricas (Gribchenko et al., 2025). En este contexto, microorganismos del género *Bacillus*, especialmente *Bacillus subtilis*, han sido ampliamente estudiados por su resistencia a condiciones adversas y su capacidad de formar esporas, lo que les permite sobrevivir en el tracto gastrointestinal y ejercer efectos benéficos en el hospedador (Antanaitis et al., 2024).

Particularmente, la cepa *Bacillus subtilis* PB6 ha sido utilizada como un probiótico de interés en la nutrición animal, destacando por su potencial para mejorar la salud intestinal, modular la respuesta inflamatoria y favorecer el equilibrio microbiano. Investigaciones recientes han evidenciado que la suplementación con esta cepa puede contribuir a mantener la integridad del tracto gastrointestinal y mejorar la eficiencia productiva en bovinos, lo que sugiere un impacto positivo en la utilización de nutrientes y en el metabolismo energético (Zhang et al., 2020; Goetz et al., 2023; Liu et al., 2025). Asimismo, su inclusión en dietas de bovinos ha mostrado efectos favorables en la reducción de patógenos entéricos y en la respuesta frente a desafíos sanitarios, lo cual es especialmente relevante en etapas tempranas de vida donde los animales son más susceptibles a enfermedades (Broadway et al., 2020).

Estudios recientes indican que, aunque la inclusión de este tipo de microorganismos puede no modificar significativamente el consumo de alimento o la ganancia de peso en todos los casos, sí puede mejorar parámetros de salud, la función ruminal y mejorar el rendimiento de los rumiantes (Gresse et al., 2025). Esto es particularmente relevante, ya que las enfermedades digestivas representan una de las principales causas de mortalidad y pérdidas económicas en la crianza de becerras (Chen et al., 2022).

El consumo de energía metabolizable (Mcal) en becerras alimentadas con leche y alimento iniciador constituye un indicador clave para evaluar la eficiencia nutricional de los sistemas de alimentación. La adecuada transición del consumo de nutrientes líquidos a sólidos es esencial para estimular el desarrollo ruminal y garantizar un destete exitoso. En este proceso, el uso de aditivos funcionales como *Bacillus*

subtilis PB6 podría influir indirectamente en el consumo energético al mejorar la digestibilidad de los nutrientes y la absorción intestinal, así como al promover un ambiente intestinal más saludable (Vicente et al., 2024).

A pesar de los avances en el conocimiento sobre probióticos en bovinos, aún existen vacíos de información respecto al efecto específico de *Bacillus subtilis* PB6 sobre el consumo de Mcal en becerras Holstein durante la fase de lactancia y transición hacia el alimento sólido. La mayoría de los estudios se han enfocado en parámetros productivos o de salud, dejando en segundo plano la evaluación detallada del consumo energético como variable integradora del desempeño nutricional.

1.1. Objetivo

El objetivo de la presente investigación se centra en analizar el consumo de energía metabolizable en becerras Holstein alimentadas con leche y alimento iniciador, suplementadas con *Bacillus subtilis* PB6, con el fin de generar información que contribuya a optimizar las estrategias nutricionales en sistemas de producción lechera.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de la etapa pre-destete en becerras Holstein

La etapa pre-destete en becerras Holstein constituye un periodo crítico en el cual se establecen las bases del desarrollo fisiológico, inmunológico y productivo del animal (Soberon, 2012). Durante las primeras semanas de vida, ocurren procesos fundamentales como la maduración del sistema digestivo, el establecimiento del metabolismo energético y el desarrollo del sistema inmune, los cuales son altamente dependientes del manejo nutricional y sanitario. Se ha demostrado que estrategias de alimentación intensiva durante esta fase favorecen un mayor crecimiento corporal, así como una mejor respuesta inmune y perfil metabólico, lo que evidencia la relevancia de una nutrición adecuada en etapas tempranas (Ockenden et al., 2023).

El manejo temprano de las becerras tiene implicaciones directas sobre su productividad futura (Uyeno et al., 2015). Diversas investigaciones han señalado que un adecuado suministro de nutrientes, particularmente durante el periodo pre-destete, no solo mejora el desempeño a corto plazo, sino que también incrementa la producción de leche en la vida adulta, además de reducir costos asociados a enfermedades y pérdidas animales (Ockenden et al., 2023). Asimismo, factores como la calidad del calostro, la cantidad de leche suministrada y las prácticas de destete influyen significativamente en el desarrollo estructural y funcional del animal, impactando su eficiencia productiva a largo plazo (Welk et al., 2024).

En términos de salud, la morbilidad y mortalidad en becerras lecheras continúan representando un desafío importante en los sistemas de producción. Se estima que

la mortalidad en la etapa pre-destete puede oscilar entre 5 y 11%, mientras que la morbilidad se asocia principalmente con enfermedades entéricas y respiratorias (Trzebiatowski et al., 2025). Entre las principales causas de muerte destacan infecciones gastrointestinales, neumonías y deficiencias en el manejo nutricional, siendo estas últimas responsables de una proporción significativa de los casos (Mee, 2023). Además, factores ambientales como el estrés térmico pueden incrementar el riesgo de mortalidad, especialmente en los primeros días de vida, lo que resalta la importancia de condiciones adecuadas de alojamiento y manejo (Jurkovich et al., 2024).

2.2. Requerimientos nutricionales en becerras lecheras

Los requerimientos nutricionales en becerras lecheras durante la etapa pre-destete son fundamentales para asegurar un crecimiento óptimo, el desarrollo de órganos y tejidos, así como el adecuado funcionamiento del sistema inmune (Van Niekerk et al., 2021). Entre los nutrientes esenciales destacan la energía, la proteína, los minerales y las vitaminas, los cuales deben ser suministrados en cantidades suficientes y balanceadas (Amado et al., 2024). La energía, generalmente expresada como energía metabolizable, es crucial para sostener las funciones vitales y el crecimiento, mientras que la proteína juega un papel clave en la formación de tejido muscular y en el desarrollo estructural del animal (Khan et al., 2011). Asimismo, minerales como el calcio y el fósforo son indispensables para la mineralización ósea, y vitaminas como la A, D y E participan en procesos metabólicos, inmunológicos y antioxidantes, influyendo directamente en la salud y el desempeño de las becerras (Gelsinger et al., 2016).

Los requerimientos nutricionales pueden dividirse en dos componentes principales: mantenimiento y crecimiento, los requerimientos de mantenimiento corresponden a la cantidad de nutrientes necesarios para sostener funciones básicas como la respiración, circulación, termorregulación y actividad metabólica basal, sin considerar ganancia de peso (NRC,2001). Por otro lado, los requerimientos de crecimiento incluyen la energía y proteína adicionales necesarias para la deposición de tejido corporal y el desarrollo fisiológico. Diversos estudios han demostrado que, en becerras jóvenes, una proporción significativa de los nutrientes consumidos se destina al crecimiento, lo que resalta la importancia de dietas densas en energía y proteína durante esta etapa (Marcondes y Silva, 2021).

El consumo de alimento en becerras lecheras está influenciado por múltiples factores, tanto nutricionales como ambientales y de manejo (Montes et al., 2023). Entre los principales factores se encuentran la palatabilidad del alimento, la calidad de la leche o sustituto lácteo, la disponibilidad de agua, el estado de salud y las condiciones ambientales, como la temperatura y el estrés. Se ha reportado que el estrés térmico, tanto por frío como por calor, puede reducir significativamente el consumo de alimento y, por ende, afectar el crecimiento y la eficiencia alimenticia (Van Os et al., 2023). Además, la transición del consumo de dieta líquida a alimento sólido representa un periodo crítico en el cual el consumo de iniciador puede verse limitado si no se manejan adecuadamente factores como la presentación del alimento y la edad al destete (Quigley et al., 2013).

2.3. Consumo de energía metabolizable (Mcal) en becerras

La energía metabolizable (EM) se define como la fracción de la energía consumida que está disponible para el animal después de descontar las pérdidas en heces, orina y gases, representando así la energía utilizable para mantenimiento y crecimiento. En becerras lecheras, la EM constituye un indicador clave del aporte energético real de la dieta, ya que permite evaluar con mayor precisión la eficiencia nutricional en comparación con otras medidas energéticas. Su relevancia radica en que un adecuado suministro de energía metabolizable es esencial para sostener funciones vitales, promover el desarrollo corporal y garantizar un crecimiento óptimo durante la etapa pre-destete.

La estimación del consumo de energía metabolizable en becerras se basa generalmente en la cuantificación del consumo de materia seca y en la determinación de la densidad energética de los alimentos suministrados, como leche, sustitutos lácteos y alimento iniciador (NRC, 2001). Métodos indirectos, como el uso de ecuaciones predictivas basadas en el peso corporal, la ganancia diaria de peso y la composición de la dieta, son ampliamente utilizados en investigación y producción animal. Asimismo, las herramientas como el sistema de requerimientos nutricionales actualizadas permiten calcular la ingesta de energía necesaria para cubrir tanto el mantenimiento como el crecimiento, facilitando la evaluación de la eficiencia alimenticia (NASEM, 2021).

La relación entre el consumo de energía metabolizable y la ganancia de peso ha sido ampliamente documentada, evidenciando que un mayor consumo energético durante la etapa pre-destete se asocia con incrementos significativos en la ganancia

diaria de peso y en el desarrollo estructural del animal. Estudios han demostrado que becerras alimentadas con dietas de mayor densidad energética presentan mejores tasas de crecimiento y alcanzan el destete con mayor peso corporal, lo que repercute positivamente en su desempeño productivo futuro (Soberon et al., 2012). Sin embargo, este efecto depende de un adecuado balance con otros nutrientes, particularmente la proteína, para evitar ineficiencias en la deposición de tejido corporal.

La eficiencia en la utilización de la energía se refiere a la capacidad del animal para convertir la energía consumida en crecimiento corporal, y está influenciada por factores como la calidad de la dieta, el estado sanitario, la temperatura ambiental y la madurez fisiológica del animal. En becerras jóvenes, una proporción considerable de la energía se destina al mantenimiento debido a su alta tasa metabólica, lo que puede limitar la eficiencia si el consumo energético es insuficiente. Investigaciones recientes destacan que estrategias nutricionales que mejoran la digestibilidad y la salud intestinal pueden incrementar la eficiencia energética, optimizando la conversión de nutrientes en tejido corporal (McGrath et al., 2018).

2.4. Alimentación líquida: leche y sustitutos lácteos

La alimentación líquida constituye la principal fuente de nutrientes para las becerras lecheras durante las primeras semanas de vida, siendo la leche entera y los sustitutos lácteos las opciones más utilizadas en sistemas de producción. La composición nutricional de la leche bovina se caracteriza por un adecuado balance de energía, proteína, grasa, lactosa, minerales y vitaminas, lo que la convierte en un alimento altamente digestible y eficiente para el crecimiento temprano. En

promedio, la leche contiene entre 3.0 y 3.5% de proteína y entre 3.5 y 4.5% de grasa, proporcionando una fuente concentrada de energía y aminoácidos esenciales necesarios para el desarrollo tisular y metabólico de la becerro (Wilms et al., 2024). Por su parte, los sustitutos lácteos han sido formulados para imitar estas características nutricionales, aunque su calidad puede variar dependiendo de la fuente de proteína y grasa utilizada, lo que influye directamente en la digestibilidad y el desempeño animal (Chapman et al., 2016).

En la práctica, existen dos enfoques principales en los programas de alimentación líquida: el convencional y el intensivo. El sistema convencional se basa en el suministro restringido de leche o sustituto lácteo (aproximadamente 10% del peso corporal), con el objetivo de estimular un consumo temprano de alimento iniciador. En contraste, los programas intensivos o de alimentación acelerada proporcionan mayores volúmenes de leche, lo que incrementa la ingesta de energía y nutrientes durante la etapa pre-destete. Investigaciones recientes han demostrado que los programas intensivos favorecen una mayor ganancia diaria de peso, mejor desarrollo corporal y una mayor eficiencia alimenticia en comparación con sistemas convencionales (Jasper & Weary, 2022).

El tipo de programa de alimentación líquida tiene efectos directos sobre el crecimiento y desarrollo de las becerros. Una mayor ingesta de leche o sustituto lácteo se asocia con un incremento en la tasa de crecimiento, mejor desarrollo del sistema inmunológico y una mayor capacidad para enfrentar desafíos sanitarios. Además, se ha observado que becerros alimentados bajo esquemas intensivos presentan un mejor desempeño productivo en etapas posteriores, incluyendo una

mayor producción de leche en la primera lactancia (Soberon & Van Amburgh, 2013). Sin embargo, estos programas requieren un manejo adecuado para evitar retrasos en el consumo de alimento sólido y asegurar una transición exitosa al destete.

2.5. Consumo y función del alimento iniciador

El alimento iniciador representa un componente esencial en la alimentación de becerras lecheras, ya que desempeña un papel determinante en el desarrollo funcional del rumen durante la etapa pre-destete. A diferencia de la dieta líquida, el consumo de alimento sólido estimula la fermentación microbiana en el rumen, promoviendo la producción de ácidos grasos volátiles (AGV), particularmente butirato y propionato, los cuales inducen el crecimiento y diferenciación de las papilas ruminales. Este proceso es fundamental para la maduración del epitelio ruminal y la transición hacia una digestión eficiente de alimentos sólidos (Castells et al., 2020).

La importancia del alimento sólido radica en su capacidad para activar el desarrollo estructural y metabólico del rumen, lo que permite a la becerro adquirir independencia de la dieta líquida. Estudios recientes han demostrado que un mayor consumo de iniciador durante las primeras semanas de vida se asocia con un mejor desarrollo ruminal, mayor actividad enzimática y una mayor capacidad de absorción de nutrientes, lo que repercute positivamente en el crecimiento y la eficiencia alimenticia (Gorka et al., 2011).

El consumo de alimento iniciador está influenciado por diversos factores, entre los que destacan la cantidad de leche suministrada, la calidad y palatabilidad del

alimento, la disponibilidad de agua y las condiciones ambientales. Se ha reportado que niveles elevados de alimentación líquida pueden reducir el consumo de iniciador debido a la menor necesidad de nutrientes provenientes de alimentos sólidos. Asimismo, la textura, el tamaño de partícula y la composición del iniciador son determinantes para estimular el consumo voluntario, mientras que el acceso constante a agua limpia favorece la fermentación ruminal y la ingesta de materia seca (Ghaffari y Kertz, 2021)

La relación entre el consumo de iniciador y el proceso de destete es estrecha, ya que este último depende en gran medida del grado de desarrollo ruminal alcanzado por la becerro. Un consumo adecuado de alimento iniciador permite una transición gradual y exitosa desde la dieta líquida hacia la sólida, reduciendo el estrés asociado al destete. Generalmente, se considera que una becerro está lista para ser destetada cuando consume entre 1.0 y 1.5 kg de iniciador por día de manera consistente, lo que indica que el rumen ha alcanzado un nivel funcional suficiente para sostener el crecimiento sin dependencia de la leche (Eckert et al., 2015).

2.6. Desarrollo del rumen en becerros

El desarrollo del rumen en becerros lecheras es un proceso dinámico que ocurre principalmente durante las primeras semanas de vida y que resulta fundamental para la transición de una dieta líquida a una dieta sólida. Al nacimiento, el rumen es funcionalmente inmaduro, con una limitada actividad fermentativa y una estructura poco desarrollada. Sin embargo, a medida que la becerro comienza a consumir alimento sólido, se desencadenan cambios anatómicos y fisiológicos que permiten

el establecimiento de una microbiota ruminal activa y el desarrollo de la capacidad digestiva propia de los rumiantes (Meale et al., 2017).

Desde el punto de vista anatómico, el desarrollo del rumen implica un incremento en el tamaño y peso del órgano, así como la formación y elongación de las papilas ruminales, las cuales son esenciales para la absorción de productos de fermentación. Fisiológicamente, se observa un aumento en la actividad microbiana y en la producción de enzimas digestivas, lo que favorece la fermentación de carbohidratos estructurales y no estructurales. Estos cambios permiten que el rumen pase de ser un órgano prácticamente inactivo a uno funcionalmente competente en pocas semanas (Ghaffari et al., 2025).

Un factor clave en este proceso es la producción de ácidos grasos volátiles (AGV), principalmente acetato, propionato y butirato, los cuales son generados a partir de la fermentación microbiana de los carbohidratos presentes en el alimento iniciador. El butirato, en particular, ha sido identificado como el principal estimulador del desarrollo de las papilas ruminales, promoviendo la proliferación celular y el aumento del área de absorción. Por su parte, el propionato contribuye al metabolismo energético, mientras que el acetato se asocia con el desarrollo estructural del rumen (Gorka et al., 2011).

El alimento iniciador desempeña un papel fundamental en la maduración ruminal, ya que su consumo es el principal estímulo para la fermentación y la producción de AGV. A diferencia de la leche, que *bypassa* el rumen a través del reflejo del surco esofágico, el iniciador proporciona los sustratos necesarios para el crecimiento microbiano y el desarrollo funcional del órgano. Estudios recientes han demostrado

que becerras con mayor consumo de alimento iniciador presentan un desarrollo ruminal más acelerado, lo que se traduce en una mejor adaptación al destete y una mayor eficiencia en la utilización de nutrientes (Steele et al., 2016).

2.7. Uso de probióticos en la nutrición de becerras

El uso de probióticos en la nutrición de becerras lecheras ha cobrado relevancia en los últimos años como una estrategia para mejorar la salud intestinal y el desempeño productivo, especialmente en sistemas donde se busca reducir el uso de antibióticos. Los probióticos se definen como microorganismos vivos que, cuando son administrados en cantidades adecuadas, confieren beneficios a la salud del hospedador. En becerras, estos microorganismos actúan principalmente a nivel del tracto gastrointestinal, donde contribuyen a la estabilización de la microbiota, la exclusión competitiva de patógenos y la modulación del sistema inmune (FAO/WHO, 2001).

Los mecanismos de acción de los probióticos incluyen la producción de sustancias antimicrobianas, la competencia por nutrientes y sitios de adhesión en el epitelio intestinal, así como la estimulación de la respuesta inmunitaria. Además, algunos probióticos pueden mejorar la digestibilidad de los nutrientes mediante la producción de enzimas, favoreciendo una mayor eficiencia en la utilización de la energía y la proteína. Estas acciones en conjunto permiten mantener la integridad de la mucosa intestinal y reducir la incidencia de trastornos digestivos, particularmente en etapas tempranas de vida (Uyeno et al., 2015).

En términos productivos y sanitarios, diversos estudios han demostrado que la suplementación con probióticos en becerras puede mejorar la ganancia diaria de peso, la eficiencia alimenticia y la salud general. Asimismo, se ha observado una reducción en la incidencia y severidad de diarreas, una de las principales causas de morbilidad en becerras pre-destete. Estos beneficios están asociados con una mejor estabilidad de la microbiota intestinal y una mayor capacidad del animal para enfrentar desafíos sanitarios (Signorini et al., 2012).

En comparación con los antibióticos promotores de crecimiento, los probióticos representan una alternativa más segura y sostenible, ya que no generan residuos en productos de origen animal ni contribuyen al desarrollo de resistencia antimicrobiana. Mientras que los antibióticos actúan eliminando tanto bacterias patógenas como benéficas, los probióticos promueven un equilibrio microbiano favorable sin alterar negativamente la microbiota. Debido a estas ventajas, su uso ha sido impulsado por regulaciones internacionales y por la creciente demanda de sistemas de producción más responsables (Price, 2016).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se llevó a cabo durante el periodo de lactancia de las becerras, con una duración de 60. La fase experimental se desarrolló del 15 de febrero al 15 de abril de 2020 en un establo ubicado en el municipio de Matamoros, Coahuila. Esta zona se sitúa en la región semiárida del norte de México, a una altitud aproximada de 1170 metros sobre el nivel del mar, entre las coordenadas 28° 11' de latitud norte y 105° 28' de longitud oeste (INEGI, 2016). En cuanto a las condiciones climáticas, el área presenta una precipitación media anual cercana a los 230 mm. La temperatura promedio es de 24 °C, registrándose valores máximos de hasta 41 °C durante los meses de mayo y junio, mientras que en invierno, particularmente en diciembre y enero, se pueden alcanzar temperaturas mínimas de hasta -1 °C (CONAGUA, 2015).

Grupos y tratamientos

Para evaluar el efecto de la suplementación de *Bacillus subtilis* PB6, se seleccionaron 26 becerras de manera aleatoria, divididas en dos grupos: grupo control y grupo PB6, las cuales fueron separadas de la madre al nacimiento y alojadas individualmente en jaulas de metal previamente lavadas y desinfectadas. La primera ingesta de calostro se realizó dentro de la primera hora de vida (3 L por toma, con una calidad de > 50 mg / mL de inmunoglobulina G) y 6 h después de la primera toma se suministró una segunda con las mismas características (Godden, 2008). En ambos tratamientos se suministraron 396 L de leche entera pasteurizada

repartida en etapas de la siguiente manera: 2 - 15 d 3 L en la mañana y 3 L en la tarde, 16 – 20 d 4 L en la mañana y 4 L en la tarde, 21 – 40 d 5 L en la mañana y 5 L en la tarde y de 41 - 60 d 2 L en la mañana y 2 L en la tarde, esta se suministró en dos tomas/día 07:00 y 15:00 h respectivamente; la adición de *B. subtilis* PB6 se realizó en una tina de metal previo su desinfección al momento de la alimentación en la primera toma. Se ofreció agua y alimento iniciador a libre acceso durante todo el estudio

Consumo de leche

Para determinar el consumo de leche se evaluó lo ofrecido menos el rechazo según el plan de nutrición por etapas planteado el sistema de alimentación.

Consumo de alimento iniciador

Para determinar el consumo de concentrado se utilizó una báscula electrónica digital (L-EQ 5 Torrey ®), el consumo del alimento se midió a partir del día 2 de vida de las becerras, para determinar el consumo de alimento por día se media los sobrantes de alimento iniciador del día posterior.

Energía bruta (Mcal)

Para el cálculo de consumo de energía se consideró que un litro de leche aporta 0.585 Mcal y el alimento iniciador 2.83 Mcal por kilogramo de materia seca.

Análisis estadísticos

El análisis estadístico para estimar el crecimiento de las becerras y el consumo de concentrado iniciador se realizó mediante un análisis de medias por t-student. Se

utilizó el valor de $P < 0.05$ para considerar diferencia estadística. Esto mediante el programa estadístico IBM-SPSS Statistics.

Cuadro 1 Composición nutrimental del alimento iniciador utilizado en la alimentación de las becerras

Humedad	Max	12.00%
Proteína cruda	Min	21.50%
Fibra cruda	Max	7.00%
Grasa cruda	Min	2.50%
Cenizas	Max	9.00%
Extracto libre de nitrógeno	Min	48.00%

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los resultados del consumo de leche (L/d) en becerras durante los distintos periodos de alimentación evaluados. Se observa que el consumo de leche fue idéntico entre los tratamientos en todos los periodos, lo cual se debe a que ambos grupos estuvieron sujetos a un mismo programa de alimentación establecido por el sistema de manejo del establo. En este sentido, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (ns; $p \geq 0.05$), debido a que la variable fue controlada experimentalmente y no dependió de la respuesta voluntaria de consumo de los animales. Los resultados obtenidos indican que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($p \geq 0.05$), lo cual era esperable debido a que esta variable fue controlada experimentalmente mediante un programa de alimentación previamente establecido. Este tipo de diseño es común en estudios de crianza de becerras, donde la alimentación líquida suele ser restringida o programada para garantizar uniformidad en el crecimiento (Khan et al., 2011).

Durante el periodo inicial (d2–15), el consumo registrado fue de 4 L/d, incrementándose a 6 L/d en el periodo d16–20. Posteriormente, en el intervalo d21–40, se alcanzó el valor máximo de consumo con 10 L/d, seguido de una ligera disminución a 8 L/d en el periodo final (d41–60). Este comportamiento refleja el esquema de alimentación progresiva implementado, en el cual la cantidad de leche suministrada se incrementa conforme avanza la edad de las becerras y posteriormente se reduce previo al destete. El incremento progresivo en el consumo de leche desde 4 hasta 10 L/d durante los primeros periodos, seguido de una

reducción a 8 L/d previo al destete, coincide con esquemas de alimentación intensiva ampliamente utilizados en la producción lechera moderna. Estos programas están diseñados para maximizar la ingesta de nutrientes en etapas tempranas, favoreciendo una mayor ganancia de peso y un mejor desarrollo fisiológico de las becerras (Van Amburgh et al., 2003). La disminución observada en la fase final responde a estrategias de reducción gradual de la dieta líquida con el objetivo de estimular el consumo de alimento sólido y promover el desarrollo ruminal. El suministro elevado de leche durante la etapa pre-destete puede mejorar el crecimiento y la eficiencia metabólica; sin embargo, también puede retrasar el consumo de alimento iniciador si no se implementa un adecuado manejo del destete (Jasper & Weary, 2002). En el presente estudio, el control en la cantidad de leche ofrecida permitió mantener un patrón uniforme de consumo entre los tratamientos, lo que explica la ausencia de diferencias estadísticas.

Es importante señalar que el consumo observado corresponde directamente a la cantidad de leche ofrecida, ya que los animales consumieron en su totalidad las raciones asignadas diariamente. Por otra parte, el hecho de que las becerras consumieran la totalidad de la leche ofrecida sugiere una adecuada aceptación del alimento líquido y un buen estado sanitario general, ya que la reducción en el consumo suele estar asociada con problemas digestivos o estrés (Quigley et al., 2006). En este contexto, la suplementación con *Bacillus subtilis* PB6 no mostró un efecto sobre el consumo de leche, lo cual es consistente con reportes previos que indican que los probióticos tienden a ejercer sus efectos principalmente sobre la salud intestinal, la digestibilidad y el desempeño productivo, más que sobre

variables controladas como la ingesta de leche (Uyeno et al., 2015). Los resultados confirman que, bajo condiciones de alimentación controlada, el consumo de leche no es una variable sensible para evaluar el efecto de aditivos como los probióticos. Por lo tanto, su impacto debe analizarse a través de variables relacionadas con el consumo voluntario, la eficiencia alimenticia o la salud del animal.

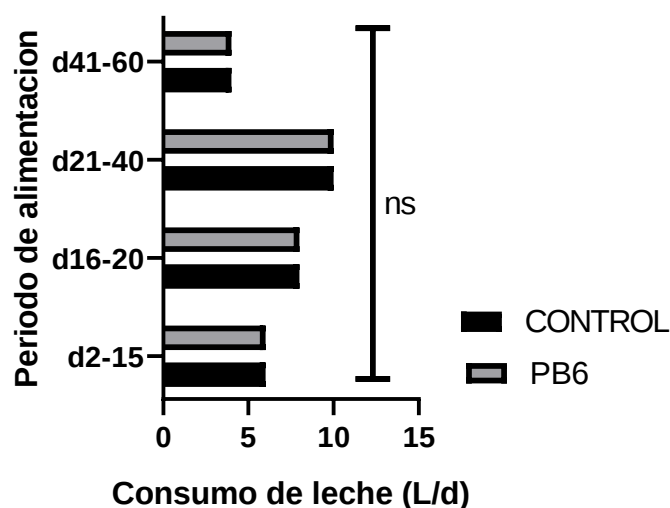


Figura 1 Consumo de leche por periodos de alimentación. ns = no significativo $p \geq 0.05$.

En la Figura 2 se presentan los resultados correspondientes al consumo de alimento iniciador (kg) en becerras durante los diferentes periodos de evaluación. A diferencia del consumo de leche, en esta variable se observa un incremento progresivo a lo largo del tiempo en ambos tratamientos, reflejando el desarrollo ruminal y la transición hacia el consumo de alimento sólido. En cuanto al consumo de alimento iniciador, se mostró un incremento progresivo a lo largo de los periodos evaluados en ambos tratamientos, lo cual concuerda con el patrón esperado en becerras durante la etapa pre-destete. Este comportamiento está estrechamente relacionado

con el desarrollo funcional del rumen, ya que el aumento en la ingesta de alimento sólido estimula la actividad microbiana y la producción de ácidos grasos volátiles (AGV), fundamentales para la maduración del epitelio ruminal (Baldwin et al., 2004).

Durante el periodo inicial (d1–20), el consumo de alimento iniciador fue bajo en ambos grupos, registrando valores de 0.703 kg para el tratamiento PB6 y 0.315 kg para el grupo control. Posteriormente, en el periodo d21–40, se observó un incremento en el consumo, alcanzando valores de 1.409 kg en el grupo PB6 y 1.315 kg en el grupo control. En el periodo final (d41–60), se registraron los valores más altos de consumo, con 7.71 kg para el tratamiento PB6 y 5.99 kg para el grupo control. Los bajos niveles de consumo observados durante el periodo inicial (d1–20) son consistentes con lo reportado en la literatura, donde se indica que las becerras recién nacidas dependen principalmente de la dieta líquida, mostrando una limitada ingesta de alimento sólido debido a la inmadurez del sistema digestivo (Khan et al., 2011). A medida que avanza la edad, el incremento en el consumo de iniciador, como se observó en los periodos subsecuentes, refleja la transición gradual hacia la funcionalidad ruminal y una mayor capacidad de digestión de carbohidratos fermentables.

En términos generales, el consumo de alimento iniciador mostró una tendencia creciente conforme avanzaron los periodos de evaluación en ambos tratamientos. Aunque numéricamente el grupo suplementado con PB6 presentó valores superiores en todos los periodos, especialmente en la fase final, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos (ns; $p \geq 0.05$), lo que indica que la suplementación no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre esta variable.

Aunque no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \geq 0.05$), se observó una tendencia numérica consistente hacia un mayor consumo en el grupo suplementado con *Bacillus subtilis* PB6, particularmente en el periodo final (d41–60). Este comportamiento podría estar asociado con los efectos benéficos de los probióticos sobre la salud intestinal y la digestibilidad de los nutrientes, lo que favorece un ambiente gastrointestinal más estable y potencialmente estimula el consumo voluntario (Uyeno et al., 2015). Sin embargo, la ausencia de significancia estadística sugiere que estos efectos no fueron lo suficientemente marcados bajo las condiciones del presente estudio. Diversos estudios han reportado que la suplementación con probióticos puede mejorar el consumo de materia seca y el desempeño productivo en becerras, aunque los resultados suelen ser variables dependiendo de factores como la cepa utilizada, la dosis y las condiciones de manejo (Signorini et al., 2012). En este sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con aquellos trabajos donde no se observaron efectos significativos en el consumo, pero sí tendencias biológicas que podrían ser relevantes desde el punto de vista productivo.

Finalmente, el marcado incremento en el consumo de iniciador durante el periodo final está directamente relacionado con la reducción progresiva en el suministro de leche, lo cual estimula la ingesta de alimento sólido y favorece el proceso de destete. Este patrón ha sido ampliamente documentado como una estrategia eficaz para promover el desarrollo ruminal y asegurar una transición exitosa hacia la etapa post-destete (Quigley et al., 2006). En conjunto, los resultados indican que el consumo de alimento iniciador sigue el comportamiento fisiológico esperado en becerras

lecheras, y aunque la suplementación con *Bacillus subtilis* PB6 no generó diferencias significativas, sí mostró una tendencia positiva que podría tener implicaciones biológicas bajo diferentes condiciones de manejo.

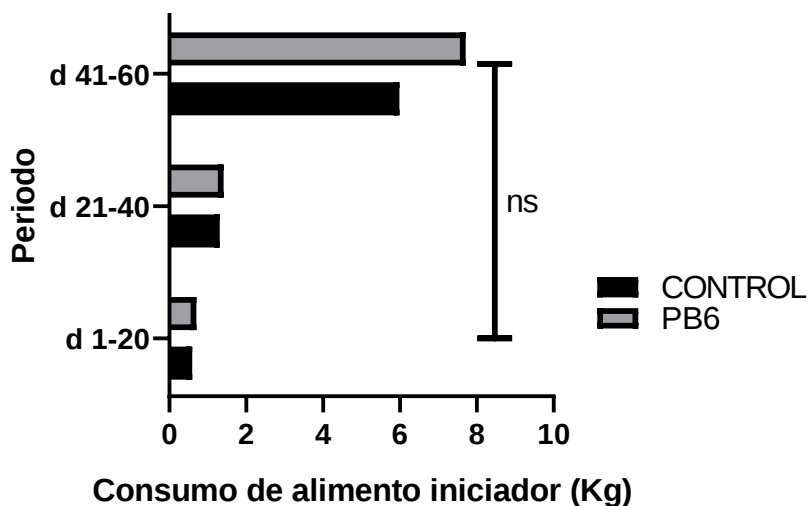


Figura 2 Consumo de alimento iniciador por periodos de evaluación. ns = no significativo $p \geq 0.05$.

En el Cuadro 2 se presenta el consumo total de energía metabolizable (Mcal/d) en becerras Holstein con y sin suplementación con *Bacillus subtilis* PB6 durante los diferentes periodos de evaluación. Se observa que el consumo energético mostró variaciones entre periodos, aunque con valores similares entre tratamientos. El consumo de energía metabolizable (Mcal/d) no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p \geq 0.05$), lo cual coincide con lo observado en el consumo de leche y, en menor medida, con el comportamiento del consumo de alimento iniciador. Este resultado puede atribuirse principalmente a que la principal fuente de energía durante la etapa pre-destete fue la leche, cuyo consumo fue controlado

experimentalmente y suministrado en cantidades iguales para ambos grupos, limitando así la posibilidad de detectar efectos derivados de la suplementación con *Bacillus subtilis* PB6.

Cuadro 2 Consumo total de Mcal en becerras Holstein con o sin suplementación de probiótico *Bacillus subtilis* PB6.

Periodo	Tratamiento	
	CON	PB6
Día 1-20 (Mcal/d)	3.88 ^a	3.89 ^a
Día 21-40 (Mcal/d)	0.77 ^a	0.78 ^a
Día 41-60 (Mcal/d)	3.15 ^a	3.43 ^a

Literales diferentes indican diferencia estadística significativa $p < 0.05$.

En el periodo inicial (d1–20), el consumo de Mcal fue prácticamente igual entre ambos grupos, registrándose valores de 3.88 Mcal/d para el grupo control y 3.89 Mcal/d para el grupo suplementado con PB6. Posteriormente, en el periodo d21–40, se observó una disminución en el consumo energético en ambos tratamientos, con valores de 0.77 y 0.78 Mcal/d para control y PB6, respectivamente. En el periodo final (d41–60), el consumo de energía volvió a incrementarse, alcanzando valores de 3.15 Mcal/d en el grupo control y 3.43 Mcal/d en el grupo PB6. El comportamiento del consumo energético a lo largo de los periodos evaluados refleja directamente los cambios en el esquema de alimentación. El valor elevado de Mcal en el periodo inicial (d1–20) está asociado al alto aporte energético proveniente de la dieta líquida, la cual constituye la principal fuente de nutrientes en becerras

jóvenes. La disminución observada en el periodo intermedio (d21–40) puede explicarse por la transición alimenticia, en la cual se reduce gradualmente el aporte de leche mientras el consumo de alimento iniciador aún no alcanza niveles suficientes para compensar completamente la ingesta energética. Este fenómeno ha sido descrito como una fase crítica en la cual puede existir un déficit energético temporal si no se maneja adecuadamente la transición hacia el alimento sólido (Van Amburgh et al., 2005).

En el periodo final (d41–60), el incremento en el consumo de Mcal coincide con el aumento significativo en la ingesta de alimento iniciador, lo que refleja un mayor desarrollo ruminal y una mejor capacidad para utilizar nutrientes provenientes de fuentes sólidas. Este patrón es consistente con lo reportado en la literatura, donde se establece que el consumo de energía en becerras tiende a estabilizarse o incrementarse conforme el rumen adquiere funcionalidad y se incrementa la digestibilidad de los nutrientes (Baldwin et al., 2004).

En general, el comportamiento del consumo de energía metabolizable mostró una tendencia de disminución en la fase intermedia, seguida de un incremento en la etapa final. Aunque el tratamiento con PB6 presentó valores ligeramente superiores en todos los periodos evaluados, no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p \geq 0.05$), lo cual se indica por la presencia de literales iguales en cada fila. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas, el tratamiento con *Bacillus subtilis* PB6 presentó valores numéricamente superiores en todos los periodos, especialmente en la fase final. Este comportamiento podría estar relacionado con mejoras en la eficiencia digestiva y en la salud intestinal inducidas

por el probiótico, lo que favorecería una mejor utilización de la energía consumida. Sin embargo, como se ha reportado en otros estudios, los efectos de los probióticos sobre variables energéticas pueden ser sutiles y no siempre detectables estadísticamente, dependiendo de factores como la dosis, la cepa utilizada y las condiciones de manejo (Signorini et al., 2012).

En conjunto, los resultados indican que el consumo de energía metabolizable estuvo fuertemente influenciado por el programa de alimentación y la transición de dieta líquida a sólida, más que por el efecto de la suplementación probiótica. No obstante, las tendencias observadas sugieren un posible efecto biológico positivo del *Bacillus subtilis* PB6 que podría manifestarse con mayor claridad en variables relacionadas con la eficiencia productiva o bajo condiciones diferentes de manejo.

5. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente estudio, la suplementación con *Bacillus subtilis* PB6 no modificó significativamente el consumo de leche, alimento iniciador ni la ingesta de energía metabolizable en becerras Holstein durante la etapa pre-destete. No obstante, se observaron tendencias numéricas positivas que sugieren un posible efecto biológico del probiótico. El consumo energético estuvo determinado principalmente por el programa de alimentación y la transición hacia el consumo de alimento sólido, destacando la importancia del manejo nutricional en esta etapa crítica del desarrollo. Se sugiere dar seguimientos a estudios durante el periodo pos-destete, además de evaluar indicadores que nos brinden información sobre la composición de la microbiota gastrointestinal de las becerras.

6. LITERATURA CITADA

- Amado, L., Leal, L. N., Berends, H., van Keulen, P., Martín-Tereso, J., y Gerrits, W. J. J. 2024. Responses to incremental nutrient supply on energy and protein metabolism in preweaning dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 107(8), 5616–5625. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24338>
- Antanaitis, R., Džermeikaitė, K., Krištolaitytė, J., Armonavičiūtė, E., Arlauskaitė, S., Girdauskaitė, A., Rutkauskas, A., y Baumgartner, W. 2024. Effects of bacillus subtilis on growth performance, metabolic profile, and health status in dairy calves. *Animals*, 14(17), 2489. <https://doi.org/10.3390/ani14172489>
- Baldwin, R. L., McLeod, K. R., Klotz, J. L., y Heitmann, R. N. 2004. Rumen development, intestinal growth and hepatic metabolism in the pre- and post-weaning ruminant. *Journal of dairy science*, 87(Suppl. E), E55–E65.
- Broadway, P. R., Carroll, J. A., Burdick Sanchez, N. C., Callaway, T. R., Lawhon, S. D., Gart, E. V., Bryan, L. K., Nisbet, D. J., Hughes, H. D., Legako, J. F., O'Connor, D. L., Hergenreder, J. E., y Rounds, P. W. 2020. Bacillus subtilis PB6 supplementation in weaned Holstein steers during an experimental Salmonella challenge. *Foodborne pathogens and disease*, 17(8), 521–528. <https://doi.org/10.1089/fpd.2019.2757>
- Castells, L., Bach, A., Araujo, G., Montoro, C., y Terré, M. 2012. Effect of different forage sources on performance and feeding behavior of Holstein calves. *Journal of dairy science*, 95(1), 286–293. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4405>
- Chapman, C. E., Erickson, P. S., Quigley, J. D., Hill, T. M., Bateman, H. G., Suarez-Mena, F. X., y Schlotterbeck, R. L. 2016. Effect of milk replacer program on calf performance and digestion of nutrients with age of the dairy calf. *Journal of dairy science*, 99(4), 2740–2747. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10372>
- Chen, H., Liu, Y., Huang, K., Yang, B., Zhang, Y., Yu, Z., y Wang, J. 2022. Fecal microbiota dynamics and its relationship to diarrhea and health in dairy calves. *Journal of animal science and biotechnology*, 13, 132. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00758-4>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Normales climatológicas 1981–2010. Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx>
- Eckert, E., Brown, H. E., Leslie, K. E., DeVries, T. J., Steele, M. A. 2015. Weaning age affects growth, feed intake, gastrointestinal development, and behavior in Holstein calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning stage. *Journal of dairy science*, 98(9), 6315–6326. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9062>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations y World Health Organization. 2006. Probiotics in food: health and nutritional properties and guidelines for evaluation (FAO Food and Nutrition Paper No. 85). FAO.
- Gelsinger, S. L., Heinrichs, A. J., y Jones, C. M. 2016. A meta-analysis of the effects of preweaned calf nutrition on first-lactation performance. *Journal of dairy science*, 99(8), 6206–6214. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10744>
- Ghaffari, M. H., y Kertz, A. F. 2021. Review: effects of different forms of calf starters on feed intake and growth rate: a systematic review and Bayesian meta-analysis of studies from 1938 to 2021. *Applied animal science*, 37(3), 273–293. <https://doi.org/10.15232/aas.2021-02150>
- 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. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2024-0702>
- Godden, S. 2008. Colostrum management for dairy calves. *Veterinary clinics of North America: food animal practice*, 24(1), 19–39. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2007.10.005>
- Goetz, B. M., Abeyta, M. A., Rodriguez-Jimenez, S., Mayorga, E. J., Opgenorth, J., Jakes, G. M., Freestone, A. D., Moore, C. E., Dickson, D. J., Hergenreder, J. E., y Baumgard, L. H. 2023. Effects of bacillus subtilis PB6 supplementation on production, metabolism, inflammatory biomarkers, and gastrointestinal tract permeability in transition dairy cows. *Journal of dairy science*, 106(12), 9793–9806. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23562>
- Górka, P., Kowalski, Z. M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Holst, J. J., Guilloteau, P., y Zabielski, R. 2011. Effect of method of delivery of sodium butyrate on rumen development in newborn calves. *Journal of dairy science*, 94(11), 5578–5588. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4166>
- Gresse, R., Cappellozza, B. I., Macheboeuf, D., Torrent, A., Danon, J., Capern, L., Sandvang, D., Niderkorn, V., Copani, G., y Forano, E. 2025. In vitro investigation of the effects of bacillus subtilis -810B and bacillus licheniformis -809A on ruminal fermentation and microbiota. *Animals*, 15(4), 476. <https://doi.org/10.3390/ani15040476>
- Gribchenko, I. B., Korel, A. V., Saeidi, A., y Bets, V. D. 2025. The effect of the probiotic strain of bacillus subtilis on the gastrointestinal tract of calves with diarrheal syndrome. *Siberian journal of life sciences and agriculture*, 17(1), 11–25. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-1-920>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2016. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos.

- Jasper, J., y Weary, D. M. 2002. Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *Journal of dairy science*, 85(11), 3054–3058. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74391-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74391-9)
- Jurkovich, V., Bakony, M., y Reiczigel, J. 2024. A retrospective study of thermal events on the mortality rate of hutch-reared dairy calves. *Frontiers in veterinary science*, 11, 1366254. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1366254>
- 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(3), 1071–81. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3733>
- Liu, Y., Cao, L., Yu, C., Zhou, Q., Li, H., Zhang, R., Tang, J., Zhang, Z., Luo, Z., Jiang, X., Fang, Z., Lin, Y., Xu, S., Zhuo, Y., Hua, L., Wu, D., Feng, B., y Che, L. 2025. Dietary supplementation with bacillus subtilis PB6 alleviates diarrhea and improves growth performance and immune function in weaned piglets fed a high-protein diet. *Frontiers in veterinary science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1525354>
- Marcondes, M. I., y Silva, A. L. 2021. Determination of energy and protein requirements of preweaned dairy calves: a multistudy approach. *Journal of dairy science*, 104(11), 11553–11566. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20272>
- McGrath, J., Duval, S. M., Tamassia, L. F. M., Kindermann, M., Stemmler, R. T., de Gouvea, V. N., Acedo, T. S., Immig, I., Williams, S. N., y Celi, P. 2018. Nutritional strategies in ruminants: a lifetime approach. *Research in veterinary science*, 116, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.09.011>
- Meale, S. J., Chaucheyras-Durand, F., Berends, H., y Guan, L. L. 2017. From pre- to postweaning: transformation of the young calf's gastrointestinal tract. *Journal of dairy science*, 100(7), 5984–5995. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12474>
- Mee, J. 2023. Invited review: bovine neonatal morbidity and mortality - causes, risk factors, incidences, sequelae and prevention. *Reproduction in domestic animals*. <https://doi.org/10.1111/rda.14369>
- Montes, M. E., Doucette, J., Brito, L. F., y Boerman, J. P. 2023. Environmental and biological factors that influence feeding behavior of Holstein calves in automated milk feeding systems. *JDS communications*, 4(5), 379–384. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0374>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM). 2021. *Nutrient requirements of dairy cattle (8th rev. ed.)*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>

- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle (7th rev. ed.). Natl. Acad. Sci.
- Ockenden, E. M., Russo, V. M., Leury, B. J., Giri, K., y Wales, W. J. 2023. Prewaning nutrition and its effects on the growth, immune competence and metabolic characteristics of the dairy calf. *Animals*, 13(5), 829. <https://doi.org/10.3390/ani13050829>
- Price, R. 2016. O'Neill report on antimicrobial resistance: funding for antimicrobial specialists should be improved. *European journal of hospital pharmacy*, 23(4), 245–247. <https://doi.org/10.1136/ejhpharm-2016-001013>
- Quigley, J. D., Lago, A., Chapman, C., Erickson, P., y Polo, J. 2013. Evaluation of the Brix refractometer to estimate immunoglobulin G concentration in bovine colostrum. *Journal of dairy science*, 96(2), 1148–55. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13253>
- Quigley, J. D., Wolfe, T. A., y Elsasser, T. H. 2006. Effects of additional milk replacer feeding on calf health, growth, and selected blood metabolites in calves. *Journal of dairy science*, 89(1), 207–216. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72085-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72085-9)
- Signorini, M. L., Soto, L. P., Zbrun, M. V., Sequeira, G. J., Rosmini, M. R., y Frizzo, L. S. 2012. Impact of probiotic administration on the health and fecal microbiota of young calves: a meta-analysis of randomized controlled trials of lactic acid bacteria. *Research in veterinary science*, 93(1), 250–258. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.05.001>
- Soberon, F., y Van Amburgh, M. E. 2013. Lactation biology symposium: the effect of nutrient intake from milk or milk replacer of preweaned dairy calves on lactation milk yield as adults: a meta-analysis of current data. *Journal of animal science*, 91(2), 706–712. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5834>
- Soberon, F., Raffrenato, E., Everett, R. W., y Van Amburgh, M. E. 2012. Prewaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *Journal of dairy science*, 95(2), 783–793. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4391>
- Steele, M. A., Penner, G. B., Chaucheyras-Durand, F., y Guan, L. L. 2016. Development and physiology of the rumen and the lower gut: targets for improving gut health. *Journal of dairy science*, 99(6), 4955–4966. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10351>
- Trzebiatowski, L., Wehrle, F., Freick, M., Donat, K., y Wehrend, A. 2025. Prenatal factors influencing calf morbidity and mortality in dairy cattle: a systematic review of the literature (2000–2024). *Animals*, 15(12), 1772. <https://doi.org/10.3390/ani15121772>

- Uyeno, Y., Shigemori, S., y Shimosato, T. 2015. Effect of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity. *Microbes and environments*, 30(2), 126–132. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME14176>
- Van Amburgh, M. E. 2003. A systematic approach to calf and heifer rearing: "intensified" feeding and the target growth system.
- Van Amburgh, M. E., Drackley, J. K., y Garnsworthy, P. C. 2005. Current perspectives on the energy and protein requirements of the pre-weaned calf. *Proceedings*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86145753>
- Van Niekerk, J., Fischer-Tlustos, A., Wilms, J., Hare, K., Welboren, A., Lopez, A., Yohe, T., Cangiano, L., Leal, L., y Steele, M. 2021. ADSA foundation scholar award: new frontiers in calf and heifer nutrition-from conception to puberty. *Journal of dairy science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-20004>
- Van Os, J., Reuscher, K., Dado-Senn, B., y Laporta, J. 2023. Effects of thermal stress on calf welfare. *JDS communications*, 5(3), 253–258. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0443>
- Vicente, F., Campo-Celada, M., Menéndez-Miranda, M., García-Rodríguez, J., y Martínez-Fernández, A. 2024. Effect of postbiotic supplementation on nutrient digestibility and milk yield during the transition period in dairy cows. *Animals*, 14(16), 2359. <https://doi.org/10.3390/ani14162359>
- Welk, A., Neave, H. W., y Jensen, M. B. 2024. The effect of weaning practices on dairy calf performance, behavior, and health: a systematic review. *Journal of dairy science*, 107(8), 5237–5258. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-24521>
- Williams, C., Bayliff, C., García-Ascolani, M., Reuter, R., Horn, G., Goad, C., y Lalman, D. 2025. The relationship of lactating beef cow metabolizable energy intake to energy partitioning, milk composition, and calf performance. *Journal of animal science*, 103. <https://doi.org/10.1093/jas/skaf126>
- Wilms, J. N., Kleinveld, N., Ghaffari, M. H., Sauerwein, H., Steele, M. A., Martín-Tereso, J., y Leal, L. N. 2024. Fat composition of milk replacer influences postprandial and oxidative metabolisms in dairy calves fed twice daily. *Journal of dairy science*, 107(5), 2818–2831. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23972>
- Zhang, Q., Li, J., Cao, M., Li, Y., Zhuo, Y., Fang, Z., Che, L., Xu, S., Feng, B., Lin, Y., Jiang, X., Zhao, X., y Wu, D. 2020. Dietary supplementation of bacillus subtilis PB6 improves sow reproductive performance and reduces piglet birth intervals. *Animal nutrition*, 6, 278–287. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.04.002>